

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Návrh zařízení pro obrábění vnější plochy válce

Design of Device for Machining the outer Surface of Cylinder

Student:

Bc. Tomáš Fryštacký

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Lukáš Dvořák, Ph.D.

Ostrava 2018

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Tomáš Fryšťacký**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2302T043 Hydraulika a pneumatika  
Téma: **Návrh zařízení pro obrábění vnější plochy válce**  
**Design of a Device for Machining the Outer Surface of a Cylinder**  
Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

Navrhněte zařízení pro frézování drážky do pláště ocelové skruže o průměru 350 mm a tloušťce stěny 2 mm. Zařízení má mít dvě pozice – první umožňuje založení a upevnění kusu, ve druhé pozici mezitím probíhá vrtání a frézování drážky. Šířka drážky je 10 mm, frézování má probíhat tak, že se skruž otočí o 15° na jednu a poté o 15° na druhou stranu od střední polohy.

### Vypracujte následující body:

1. Vypracujte řešení k problematice realizace kyvného pohybu při obrábění a na základě řezné síly zvolte vhodný pohon.
2. Navrhněte vhodnou koncepci konstrukce zařízení.
3. Navrhněte pneumatické schéma a na základě potřebných výpočtů specifikujte pneumatické prvky.
4. Nakreslete dispoziční výkres zařízení.

### Seznam doporučené odborné literatury:

KOLEKTIV AUTORŮ. *SMC Training – Stlačený vzduch a jeho využití*. Brno: SMC Industrial Automation CZ s.r.o. 2. vydání. 344 s.  
BEATER, P. *Pneumatic drives: system design, modelling and control*. Berlin: Springer, 2007. 323 p. ISBN 978-3-540-69470-0.  
KOPÁČEK, J. *Pneumatické mechanismy díl 1. – Pneumatické prvky a systémy*. Ostrava: VŠB-TUO, 1996. 267 s. ISBN 80-7078-306-0.  
MURRENHOFF, H., REINERTZ, O. *Fundamentals of fluid power: Part 2, Pneumatics*. Aachen: Shaker Verlag, 2014. 333 p. ISBN 978-3-8440-3213-0.  
Katalogy a podklady výrobců pneumatických prvků.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Lukáš Dvořák, Ph.D.**

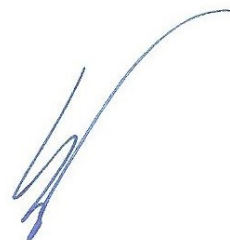
Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018



---

doc. Dr. Ing. Lumír Hružík  
vedoucí katedry



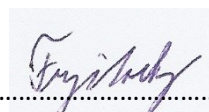
---

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 21.5.2018

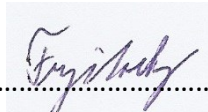


Podpis studenta

Prohlašuji že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou diplomovou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této diplomové práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на вѣдомі, že - podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato diplomová práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne: 21.5.2018



.....

Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce: Tomáš Fryšťacký

Adresa trvalého pobytu autora práce: Okružní 1775/39, Hlučín, 748 01

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

FRYŠTACKÝ, T. *Návrh zařízení pro obrábění vnější plochy válce: diplomová práce*. Ostrava : VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2018, 50 s. Vedoucí práce: Ing. Lukáš Dvořák, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá návrhem zařízení pro frézování drážky do pláště ocelové skruže. Zařízení má mít dvě pozice, aby mohlo dojít současně k výměně hotového kusu a současně k frézování drážky na druhém kusu. V úvodních kapitolách se zabývám rozбором řezné síly, podle které volím velikosti pohonů. V této části práce taky volím vhodnou koncepci stroje, do které umísťuji zvolené pohony. V dalších částech práce se zabývám pneumatickou částí. Navrhuji pneumatické obvody, abych docílil požadované funkce stroje. Volím jednotlivé pneumatické prvky a zvažuji, která varianta řízení je vhodnější.

FRYŠTACKÝ, T. *Design of Device for Machining the Outer Surface of a Cylinder*: diploma thesis. Ostrava: Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydromechanics and Hydraulic Devices, 2018, 50 p. Thesis head: Ing. Lukáš Dvořák, Ph.D.

Diploma thesis deals with design of the device for milling a slot into the cover of steel centering. The device should have two positions, which enables it to change a finished piece and mill a slot into the other piece parallelly. In introductory chapters the thesis deals with analysis of cutting power. According to cutting power the size of propulsion is chosen. In this part of the thesis the right conception of a machine is sorted out. Into the right conception of a machine the chosen propulsion is set. In latter parts of the thesis I deal with pneumatic part. I suggest pneumatic circuits to aim the target function of the machine. I choose individual pneumatic elements and consider which variation of controlling is more suitable.

# 1 Obsah

1.	Úvod .....	1
2	Definice obrobku .....	2
2.1	Rozbor řezné síly .....	3
2.1.1	Výpočet řezných podmínek pro frézu HSS .....	5
2.1.2	Výpočet řezných podmínek pro frézu SK .....	9
2.1.3	Volba frézy.....	12
2.2	Rozbor upnutí skruže .....	12
2.3	Kyvný pohyb .....	15
3	Koncepce stroje.....	19
3.1	Zajištění polohy stolu při frézování .....	25
3.2	Pohon frézy .....	25
4	Návrh pneumatického obvodu .....	27
4.1	Krokový diagram .....	28
4.2	Návrh pneumatického obvodu posuvu stroje.....	30
4.3	Návrh pneumatického obvodu frézování.....	33
4.4	Elektropneumatický obvod .....	37
5	Cenové porovnání obou variant.....	38
5.1.1	Výpočet potřebného průtoku vzduchu a určení světlosti použitých prvků .....	38
5.1.2	Cenové srovnání obou variant .....	39
6	Výběr prvků .....	42
6.1.1	Rozváděč 5/3, uzavřená střední poloha .....	43
6.1.2	Rozváděč 5/2, bistabilní .....	43
6.1.3	Rozváděč 3/2, monostabilní.....	44
6.1.4	Připojovací deska .....	45
6.1.5	Jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu .....	46
6.1.6	Spínací ventil .....	47
6.1.7	Řízený zpětný ventil, jednosměrný škrtkový ventil .....	47
6.1.8	Šroubení G1/8 .....	48
6.1.9	Hadice.....	48
6.2	Kontrola propustnosti .....	49
6.3	PLC Siemens LOGO!.....	49
6.4	Řídicí program LOGO! .....	50
7	Závěr.....	54
8	Seznam použité literatury .....	56
9	Seznam obrázků .....	58
10	Seznam tabulek .....	59
11	Seznam příloh.....	59

## Seznam použitých veličin

Označení veličiny	Název veličiny	Jednotka
$a$	tloušťka třísky	[mm]
$b$	šířka třísky	[mm]
$h$	hloubka řezu	[mm]
$h_D$	tloušťka třísky	[mm]
$k_t$	součinitel korekce frézovaného průřezu	[1]
$n$	otáčky	[min <sup>-1</sup> ]
$p$	řezný odpor	[MPa]
$p_{ABS}$	absolutní tlak	[Pa]
$s$	dráha	[m]
$t$	čas	[s]
$v$	rychlost	[m · s <sup>-1</sup> ]
$v_c$	řezná rychlost	[m · min <sup>-1</sup> ]
$z$	počet zubu frézy	[1]
$D$	průměr frézy	[mm]
$D_S$	průměr skruže	[m]
$F$	síla působící proti posuvu	[N]
$F_x$	síla působící proti posuvu v ose X	[N]
$F_{xv}$	výsledná síla působící proti posuvu v ose X	[N]
$F_z$	obvodová řezná síla	[N]
$M$	moment otáčení skruže	[N · m]
$M_f$	moment otáčení frézy	[N · m]
$M_v$	moment výsledný	[N · m]
$M_{vf}$	moment otáčení frézy výsledný	[N · m]
$P$	výkon vřetene	[W]
$Q$	průtok	[m <sup>3</sup> · s <sup>-1</sup> ]
$Q_{EKV}$	ekvivalentní průtok	[m <sup>3</sup> · s <sup>-1</sup> ]
$Q_N$	normální průtok	[m <sup>3</sup> <sub>N</sub> · s <sup>-1</sup> ]
$S$	plocha	[m <sup>2</sup> ]
$S_t$	průřez třísky	[mm <sup>2</sup> ]
$S_z$	průřez třísky odebíraný jedním zubem	[mm <sup>2</sup> ]
$\varphi$	úhel pootočení	[°]
$\omega$	úhlová rychlost	[rad · s <sup>-1</sup> ]



## 1. Úvod

Cílem této diplomové práce byl návrh zařízení pro frézování drážky. Jedná se o jednoúčelový stroj, který měl za úkol do pláště ocelové skruže ventilátoru vyfrézovat drážku, která slouží k přívodu kabelů ventilátoru. Frézovaná drážka bude vyrobena tak, že se kyvný pneumomotor otočí o  $15^\circ$  na jednu stranu a poté se natočí o  $15^\circ$  od počáteční polohy na druhou stranu. Zařízení má dvě pracovní pozice, v jedné probíhá frézování drážky a ve druhé mezi tím dochází k výměně obrobku za nový kus a k jeho upevnění. Pro toto zařízení jsem musel vypočítat řezné síly, které vznikají při vrtání a frézování drážky. Z těchto výpočtů jsem získal hodnoty, pomocí kterých jsem zvolil vhodný pohon frézy a kyvný pneumomotor, který zajistí pootočení skruže. Mým úkolem bylo zvolit vhodný systém upínání obrobku, který bude dostatečně pevný a přitom umožní snadnou výměnu obrobku. Zvolené pohony jsem musel zakomponovat do navrhnuté koncepce stroje. Po návrhu koncepce stroje jsem se dále zabýval návrhem pneumatických obvodů, tak abych docílil správného fungování stroje a dostatečné bezpečnosti.

## 2 Definice obrobku

Jedná o ventilátor, který je určen k montáži do vzduchotechnických systémů. Slouží k tomu, aby zajišťoval proudění vzduchu v těchto systémech. Skládá se ze skruže, která je na obou koncích opatřená přírubou s dírami pro upevnění ventilátoru k dalším dílům vzduchotechniky. Uvnitř skruže je elektrický motor, který pohání lopatky ventilátoru. Rozměry skruže ventilátoru viz. (Obrázek 3) a (Tabulka 2). Skruž a příruby jsou vyrobeny z oceli 11 373, která se používá pro tenké plechy. Tloušťka plechu použitého pro skruž je 2 mm. Chemické a mechanické vlastnosti oceli viz. (Obrázek 1) a (Tabulka 1). V plášti bude vyfrézována drážka o šířce 10 mm, vzdálenost drážky od příruby bude 100 mm po osu drážky. Pro výpočty potřebuji znát hodnotu meze pevnosti v tahu  $R_m$  pro zvolený materiál. U materiálu 11 373 je  $R_m$  dle strojnických tabulek v rozmezí od 340 do 440 MPa. Pro výpočty budu uvažovat materiál s  $R_m = 440$  MPa. [1]

Tabulka 1 - Vlastnosti materiálu tabulky [1]

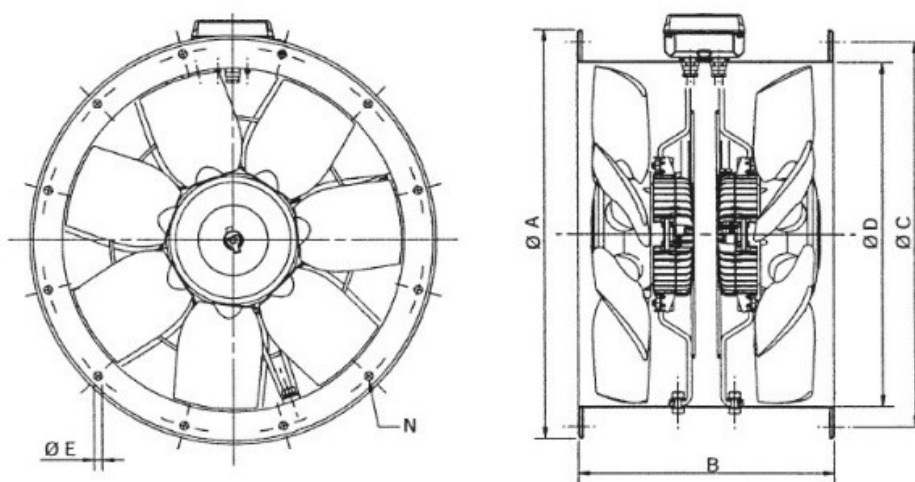
Konstrukční oceli	11373
Mez pevnosti v tahu $R_m$ (MPa)	340 až 440
Mez kluzu v tahu $R_e$ (MPa)	186 až 250
Mez únavy v ohybu $\delta_{oc}$ (MPa)	130 až 155
Mez únavy v krutu $\tau_c$ (MPa)	95 až 110

<div> <div>ČSN 41 1373 STN 41 1373</div> <div>Nelegovaná ocel obvyklých vlastností vhodná ke svařování pro ocelové konstrukce</div> <div>11 373 Značka</div> </div>			
Chemické složení [hm. %]			
C	P	S	N
max 0,17	0,045	max 0,045	max 0,007
Dovolené úchytky chemického složení hotového výrobku			
+0,04	+0,010	+0,010	+0,002
Polotovary			
[1] tyče válcované za tepla	[8] tyče tažené za studena		
[2] tvarové tyče válcované za tepla	[9] tenké plechy válcované za studena		
[3] dráty válcované za tepla	[10] pásy a pruhy válcované za studena		
[4] tlusté plechy válcované za tepla	[11] pásy podélně dělené válcované za studena		
[5] široká ocel válcovaná za tepla	[12] duté profily tvářené za studena		
[6] tenké plechy válcované za tepla	[13] široké ohýbané profily tvářené za studena		
[7] pásy válcované za tepla	[14] tenkostěnné profily ocelové tvářené za studena		

Obrázek 1 - Chemické složení materiálu 11 373 [1]



Obrázek 2 – Ventilátor [3]



Obrázek 3 - Ventilátor s rozměry [3]

Tabulka 2 - Tabulka rozměrů ventilátoru

ØA (mm)	410
B (mm)	200
ØC (mm)	380
ØD (mm)	350
ØE (mm)	12
N (mm)	12

## 2.1 Rozbor řezné síly

### Volba nástroje

Pro výpočet řezné síly při frézování je důležité vybrat nástroj, kterým budu frézovat. Měl jsem za úkol vyfrézovat drážku o šířce 10 mm do plechu o tloušťce 2 mm. Zvolil jsem čelní válcovou frézu nazývanou taky jako drážkovací fréza dvoubřitá o průměru 10mm. Materiál frézy je označen jako HSS. Pro tuto frézu výrobce udává hodnotu řezné rychlosti

a velikost posuvu na zub. Řezná rychlost je  $v_c = 45 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  a posuv na zub je  $f_z = 0,036 \text{ mm}$ . Fréza je dvoubřitá a dvouzubá s nesouměrným břitem. [4]



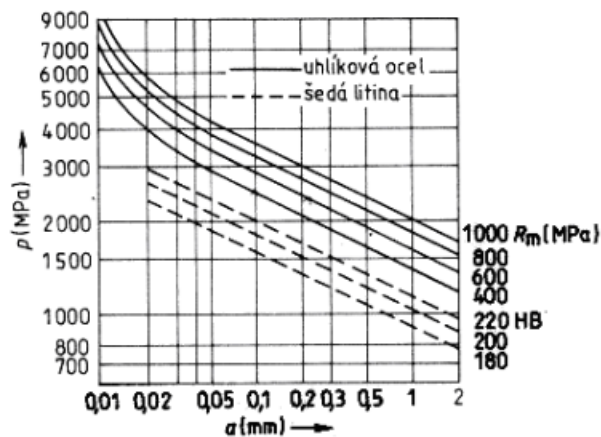
Obrázek 4- Čelní válcová fréza s nesouměrným břitem [4]

### Postup výroby drážky

Čelní válcová fréza má tu výhodu, že díru není třeba předvrtávat vrtákem a až potom rozšiřovat frézou. Tato fréza se umí do materiálu zavrtat, a proto díru nepředvrtávám. Jelikož je tloušťka plechu ventilátoru pouze 2 mm a průměr frézy jsem zvolil stejný, jako je šířka drážky, budu drážku frézovat v jednom kroku. Fréza se prvně do materiálu zavrtá. Po zavrtání frézy se začne drážka pomalým pohybem kyvného pneumomotoru prodlužovat. Kyvný motor vyková kyv prvně na jednu stranu o  $15^\circ$  od počáteční polohy a po vrácení motoru do počáteční polohy se vykoná kyv na druhou stranu, zase o  $15^\circ$ , bude-li požadováno vyfrézovat delší drážku. Po ukončení frézování a návratu kyvného motoru do původní polohy dojde k vyjetí frézy z drážky.

### Výpočet řezné síly

Pro výpočet řezné síly při frézování je nutné znát několik hodnot, které jsem zadával do vzorečků. Dovolenu řeznou rychlost nástroje a velikost posuvu na zub jsem se dozvěděl od výrobce nástroje, který tyto hodnoty udává pro každou frézu. Krom těchto hodnot je nutné znát mechanické vlastnosti obráběného materiálu, které jsou zmíněné v kap. 2. Definice obrobku. Do výpočtů se zadává hodnota řezného odporu. Tuto hodnotu zjistím z grafu viz. (Obrázek 5) znám - li mez pevnosti materiálu  $R_m$  a velikost posuvu na zub  $f_z$ . Pro  $R_m = 440 \text{ MPa}$  a  $f_z = 0,036 \text{ mm}$  je řezný odpor cca.  $P = 3200 \text{ MPa}$  pro materiál frézy HSS. Pro materiál SK je  $f_z = 0,033 \text{ mm}$  a řezný odpor cca.  $P = 3300 \text{ MPa}$ . Řezné síly jsem vypočítal pro oba materiály fréz a následně se rozhodnul, který materiál vyberu. Výpočet je proveden dle literatury [1], [5], [6].



Obrázek 5 - Mez pevnosti [1]

### 2.1.1 Výpočet řezných podmínek pro frézu HSS

#### Výpočet otáček frézy

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} [\text{min}^{-1}] \quad (2.1)$$

$$n = \frac{45 \cdot 1000}{\pi \cdot 10} = 1432 \text{ min}^{-1}$$

$v_c$  ... řezná rychlost frézy [ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ]

$D$  ... průměr frézy [mm]

#### Výpočet průřezu třísky

Průřez třísky je při frézování proměnlivý, neboť během záběru se mění tloušťka třísky. Maximální průřez třísky odebírání zub frézy v okamžiku, kdy je tloušťka třísky maximální a je uveden v následujícím vzorečku.

$$S_{zmax} = a_{max} \cdot b [\text{mm}^2] \quad (2.2)$$

#### Průřez třísky odebíraný jedním zubem frézy

$$S_z = a \cdot b = 0,036 \cdot 2 = 0,072 \text{ mm}^2$$

$a$  ... tloušťka třísky [mm] v ose = posuv na zub  $f_z$

$b$  ... šířka třísky [mm]

### Výpočet řezné síly

$$F = p \cdot S_t \text{ [N]} \quad (2.3)$$

$$F = 0,072 \cdot 3200 = 230 \text{ N}$$

$S_t$  ... průřez třísky [mm<sup>2</sup>]

$p$  ... řezný odpor [MPa]

### Frézování válcovou frézou - obvodová řezná síla

$$F_z = h \cdot b \cdot k_t \cdot p \text{ [N]} \quad (2.4)$$

$$F_z = 10 \cdot 2 \cdot 0,0023 \cdot 3200 = 147 \text{ N}$$

$h$  ... hloubka řezu [mm]

$b$  ... šířka frézování [mm]

$k_t$  ... součinitel korekce frézovaného průřezu

$p$  ... řezný odpor [MPa]

$$\text{kde } k_t = \frac{S_z \cdot z}{\pi \cdot D} = \frac{0,036 \cdot 2}{\pi \cdot 10} = 0,0023 \quad (2.5)$$

$S_z$  ... posuv na zub [mm]

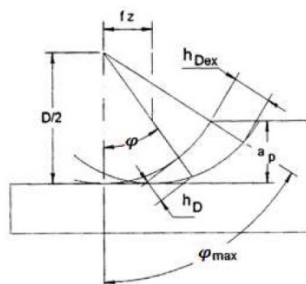
$D$  ... průměr frézy [mm]

$z$  ... počet zubů frézy

### Výpočet síly v závislosti na úhlu natočení břitu:

Vztah pro výpočet tloušťky třísky  $h_D$  [mm] a pro úhel pootočení  $\varphi$  [°]:

$$h_D = f_z \cdot \sin \varphi \text{ [mm]} \quad (2.6)$$



Obrázek 6 - Úhly při frézování

### Řezný odpor

$$-F = b \cdot h_D \cdot p = b \cdot f_z \cdot \sin \varphi \cdot p \text{ [N]} \quad (2.7)$$

### Síla působící proti posuvu F (otáčení)

$$F = b \cdot h_D \cdot p \cdot \cos \varphi = b \cdot f_z \cdot \sin \varphi \cdot p \cdot \cos \varphi \text{ [N]} \quad (2.8)$$

$$F_x = F \cdot \cos \varphi \text{ [N]} \quad (2.9)$$

Tabulka 3 - Řezné síly HSS

$\varphi$ [°]	$F$ [N]	$F_x$ [N]
0	0	0
5	20	20
10	40	39
15	60	58
20	79	74
25	97	88
30	115	100
35	132	108
40	148	113
45	163	<b>115</b>
50	176	113
55	189	108
60	200	100
65	209	88
70	217	74
75	223	58
80	227	39
85	230	20
90	<b>230</b>	0

Při úhlu natočení  $\varphi 90^\circ$  je maximum síly, která působí proti upínacím prvkům skruže. Tato síla je nazvána  $F$  a působí svisle vzhůru. Maximum síly působící proti pohybu kyvného pneumomotoru je, když síla působí ve vodorovném směru. Tento směr odpovídá natočení  $\varphi 45^\circ$ . Síla je pojmenována  $F_x$ . Z této síly  $F_x$  tedy vypočítám potřebný moment  $M$ , který musí kyvný pneumomotor překonat.

### **Moment otáčení skruže (pneumomotoru)**

$$M = F_x \cdot \frac{D_s}{2} \text{ [N} \cdot \text{m]} \quad (2.10)$$

$$M = 115 \cdot \frac{0,350}{2} = 20,1 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$D_s$  ... průměr skruže [m]

Výsledek výpočtu momentu otáčení skruže je moment, který musí vyvinout pneumomotor, aby překonal odpor proti fréze a došlo k rozšiřování drážky. Abych měl jistotu, že jsem navrhnul dostatečně silný pneumomotor, navýšil jsem výsledek o 50 %. Důvod proč jsem navýšil výsledek o 50% je doložen v diplomové práci, která se zabývá silovým zatížením řezných nástrojů při frézování [7]. Dle výsledků z diplomové práce je zjevné, že vypočtené hodnoty jsou nižší, než skutečně naměřené, a to v některých případech až o zmíněných 50 %. Výsledný moment, pro který jsem volil pohon je tedy:

$$M_v = M \cdot 1,5 = 30,1 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (2.11)$$

### **Moment otáčení frézy (vřetene)**

$$M_f = F \cdot r \text{ [N} \cdot \text{m]} \quad (2.12)$$

$$M_f = 230 \cdot 0,005 = 1,15 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Moment otáčení frézy, pro který budu volit pohon, jsem opět navýšil o 50%. Výsledný moment pro vřeteno frézy je:

$$M_{vf} = M_f \cdot 1,5 = 1,15 \cdot 1,5 = 1,73 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (2.13)$$

Výkon vřetene se vypočte dle následujícího vztahu. V tomto vztahu potřebuji znát výslednou hodnotu momentu otáčení frézy a úhlovou rychlost otáčení frézy.

$$P = M_{vf} \cdot \omega \text{ [W]} \quad (2.14)$$

$$P = 1,73 \cdot 150 = 259 \text{ W}$$

Výpočet úhlové rychlosti.

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n \text{ [rad} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (2.15)$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot \frac{1432}{60} = 150 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$



## Výkon při vrtání

Výkon vřetene při vrtání je stejný jako výkon vřetene při frézování.

## Posuvová síla

Posuvovou sílu jsem určil pomocí strojnických tabulek [1], ve kterých se nachází tabulka s velikostí průměru vrtáku a příslušnou velikostí posuvové síly. Posuvová síla je osová síla v ose vrtání. Dle tabulky ze strojnických tabulek je posuvová síla  $F_x = 185 \text{ N}$ . Tuto hodnotu opět o 50% navýším, abych měl jistotu, že stroj bude bezproblémově pracovat. Výsledná posuvová síla je tedy:

$$F_{xv} = F_x \cdot 1,5 = 185 \cdot 1,5 = 278 \text{ N} \quad (2.16)$$

### 2.1.2 Výpočet řezných podmínek pro frézu SK

Vzorečky v této kapitole jsou stejné jako vzorečky z předchozí kapitoly.

## Výpočet otáček

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} [\text{min}^{-1}] \quad (2.17)$$

$$n = \frac{200 \cdot 1000}{\pi \cdot 10} = 6366 \text{ min}^{-1}$$

$v_c$  ... řezná rychlost frézy [ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ]

$D$  ... průměr frézy [mm]

## Výpočet průřezu třísky

$$S_{zmax} = a_{max} \cdot b [\text{mm}^2] \quad (2.18)$$

## Průřez třísky odebíraný jedním zubem frézy

$$S_z = a \cdot b = 0,033 \cdot 2 = 0,066 \text{ mm}^2$$

$a$  ... tloušťka třísky [mm] v ose = posuv na zub  $f_z$

b ... šířka třísky [mm]

### Výpočet řezné síly

$$F = p \cdot S_t [N] \quad (2.19)$$

$$F = 0,066 \cdot 3300 = 218 \text{ N}$$

$S_t$  ... průřez třísky [mm<sup>2</sup>]

p... řezný odpor [MPa]

### Frézování válcovou frézou - obvodová řezná síla

$$F_z = h \cdot b \cdot k_t \cdot p [N] \quad (2.20)$$

$$F_z = 10 \cdot 2 \cdot 0,0021 \cdot 3300 = 139 \text{ N}$$

h ... hloubka řezu [mm]

b ... šířka frézování [mm]

$k_t$  ... součinitel korekce frézovaného průřezu

p ... řezný odpor [MPa]

$$\text{kde } k_t = \frac{S_z \cdot z}{\pi \cdot D} = \frac{0,033 \cdot 2}{\pi \cdot 10} = 0,0021 \quad (2.21)$$

$S_z$  ... posuv na zub [mm]

D ... průměr frézy [mm]

z ... počet zubů frézy

### Výpočet síly v závislosti na úhlu natočení břitu:

Vztah pro výpočet tloušťky třísky  $h_D$  [mm] a úhel pootočení  $\varphi$  [°]:

$$h_D = f_z \cdot \sin \varphi [\text{mm}] \quad (2.22)$$

### Řezný odpor

$$-F = b \cdot h_D \cdot p = b \cdot f_z \cdot \sin \varphi \cdot p [N] \quad (2.23)$$

### Síla působící proti posuvu (otáčení)

$$F = b \cdot h_D \cdot p \cdot \cos \varphi = b \cdot f_z \cdot \sin \varphi \cdot p \cdot \cos \varphi \text{ [N]} \quad (2.24)$$

$$F_x = F \cdot \cos \varphi \text{ [N]} \quad (2.25)$$

Tabulka 4 - Řezné síly SK

$\varphi$ [°]	$F$ [N]	$F_x$ [N]
0	0	0
5	19	19
10	38	37
15	56	54
20	74	70
25	92	83
30	109	94
35	125	102
40	140	107
45	154	<b>109</b>
50	167	107
55	178	102
60	189	94
65	197	83
70	205	70
75	210	54
80	214	37
85	217	19
90	<b>218</b>	0

### Moment otáčení skruže (pneumomotoru)

$$M = F_x \cdot \frac{D_s}{2} \text{ [N} \cdot \text{m]} \quad (2.26)$$

$$M = 109 \cdot \frac{0,350}{2} = 19,07 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$D_s$  ... průměr skruže [m]

Výpočet jsem navýšil opět o 50 %, ze stejných důvodů jako v případě použití frézy z materiálu HSS uvedeno v kap. 2.1.1

$$M_v = M \cdot 1,5 = 19,07 \cdot 1,5 = 28,6 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (2.27)$$

### Moment otáčení frézy (vřetene)

$$M_f = F \cdot r \text{ [N} \cdot \text{m]} \quad (2.28)$$

$$M_f = 218 \cdot 0,005 = 1,09 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_{vf} = M_f \cdot 1,5 = 1,09 \cdot 1,5 = 1,64 \text{ N} \cdot \text{m}$$

### Výkon vřetene

$$P = M_{vf} \cdot \omega \text{ [W]} \quad (2.29)$$

$$P = 1,64 \cdot 666 = 1092 \text{ W}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n \text{ [rad} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (2.30)$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot \frac{6366}{60} = 666 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

### 2.1.3 Volba frézy

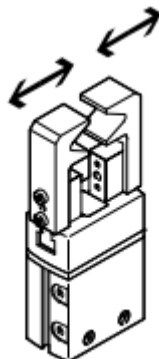
Rozhodl jsem se, že pro frézování drážky do ocelové skruže ventilátoru použiji frézu z materiálu HSS. Tyto frézy jsou odolnější vůči rázům, které mohou být způsobené malou tuhostí stroje. Pracují při nižších otáčkách a dle výrobce není tyto frézy třeba chladit olejem.

## 2.2 Rozbor upnutí skruže

Zakládání skruže bude obsluhou prováděno ručně. Skruž ventilátoru bude upnuta ve třech bodech tak, aby byla snadná její výměna. Minimální upínací síla je 115 N, jak bylo vypočteno v kap. 2.1.1. Na upínací desce bude osazení, které bude mít průměr jako vnitřní průměr skruže. Toto osazení slouží k přesnému usazení skruže na požadované místo. Na upínací desce bude umístěn i výstupek, který zapadne do díry na přírubě. Toto řešení zajistí stále stejné pootočení skruže vůči fréze a drážka po vyfrézování bude vždy ve stejném místě. Skruž bude upnuta za přírubu. Uvažoval jsem o dvou možných způsobech upnutí skruže, které v dalších odstavcích popíšu.

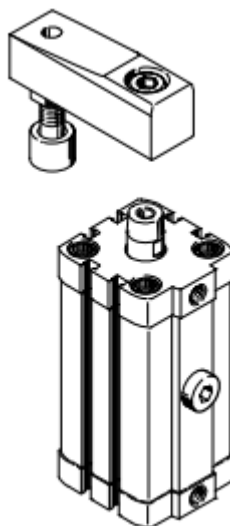
Jako první způsob upnutí skruže mě napadlo použít mechanická paralelní chapadla viz. (Obrázek 7). Ovšem většinu dostupných chapadel není možné použít pro třískové obrábění a agresivní média. Použitelné by byly jen paralelní chapadla HGPT-B, robustní od firmy Festo. Tento typ chapadla je možné použít pro třískové obrábění. Použití

agresivních médií je možné pouze po konzultaci se společností Festo. Další nevýhodou tohoto systému je, že výměna obrobku by byla komplikovaná, protože chapadla mají pouze zdvih v jednom směru a upínací čelisti chapadla by překážely při vyndávání skruže z osazení.

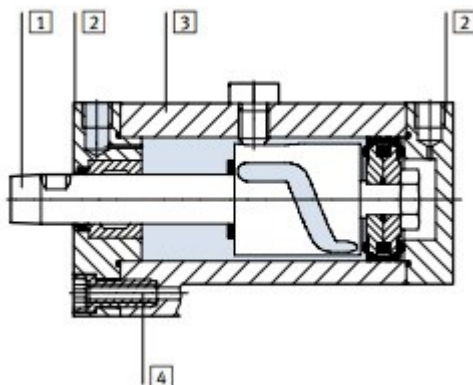


Obrázek 7 - Paralelní mechanické chapadlo [8]

Druhý způsob upnutí skruže jsem zvolil pomocí kyvně přímočaré upínky CLR firmy Festo viz. (Obrázek 8, 9). Tato upínka vykonává najednou přímočarý a kyvný pohyb. Díky kombinaci těchto pohybů je výměna obrobku jednodušší, protože při vyndávání skruže z osazení nebrání nic v jejím nadzvednutí a v pohodlné manipulaci sní. Pokud by tlak v systému neklesal a jeho hodnota by byla stále 0,6 MPa, je možné zvolit upínku o velikosti průměru pístu 20 mm, která má při této hodnotě tlaku efektivní upínací sílu 109 N. Ovšem z důvodu možného kolísání a poklesu tlaku v systému pod hodnotu 0,6 MPa a tím snížením upínací síly, jsem zvolil upínku o průměru pístu 25mm. Tato upínka má efektivní upínací sílu při 0,6 MPa 188 N. Pokles v systému nepředpokládám nižší než pod 0,4 Mpa, kdy tato upínka má ještě efektivní upínací sílu 127 N, což je stále dostatečná hodnota pro bezpečné upnutí skruže. Označení této upínky je CLR-25-10-R-P-A-K11-R8. [9]

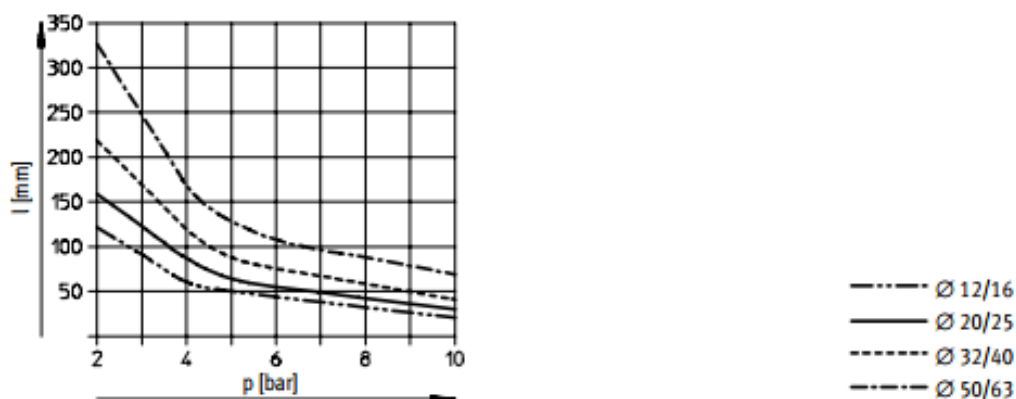


Obrázek 8 - CLR upínka s upínacím ramenem [9]



Obrázek 9 - CLR upínka funkční pohled [9]

Pro zvolenou upínku jsem z tabulky zvolil maximální přípustnou délku upínacího ramene viz. (Obrázek 8). Délku ramene upínky jsem volil podle velikosti průměru pístu upínky a hodnotě tlaku, při kterém bude upínka pracovat. V mém případě tedy hledám upínací rameno pro velikost upínky 25 a hodnotu tlaku 0,6 MPa. Z obrázku 10, je patrné, že maximální délka ramene pro můj případ bude  $l = 50 \text{ mm}$ .



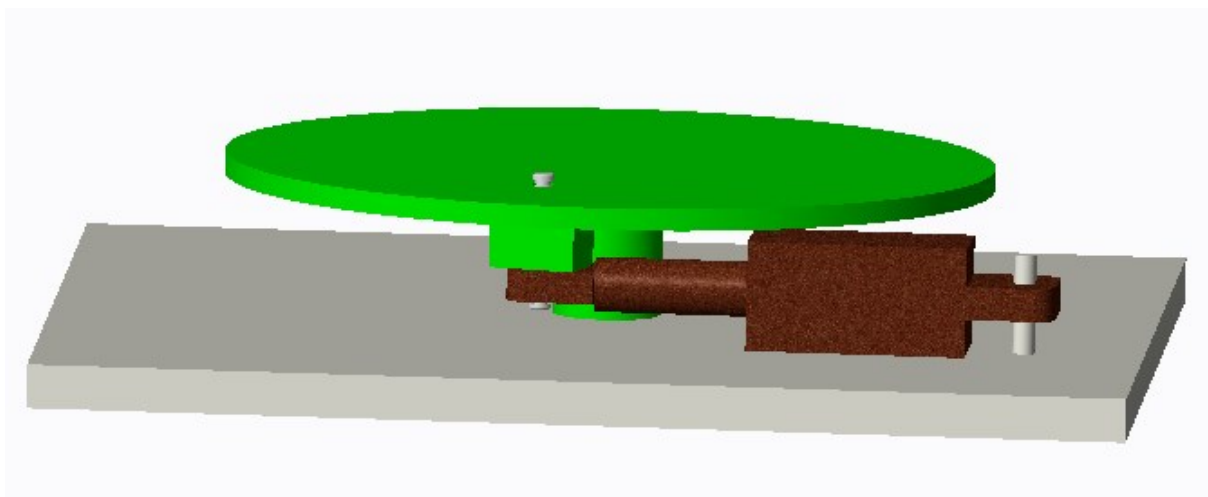
Obrázek 10 - Maximální přípustná délka ramena upínky [9]

## 2.3 Kyvný pohyb

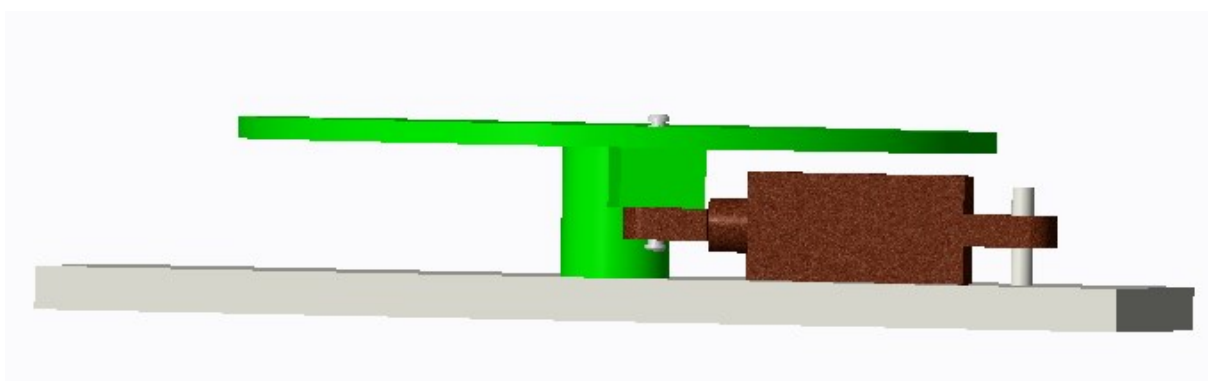
Upnutá skruž ventilátoru má vykonávat kyvný pohyb v rozmezí  $0^\circ$  až  $15^\circ$  a  $0^\circ$  až  $-15^\circ$ . Toto rozmezí je zvolené z toho důvodu, aby bylo možné frézovat drážky dvou různých délek. V případě, že bude stačit vyfrézovat kratší drážku, kyvný motor vykoná pouze pohyb  $0^\circ$  až  $15^\circ$ . Bude-li potřeba frézovat delší drážku, kyvný motor vykoná pohyb  $0^\circ$  až  $15^\circ$  a  $0^\circ$  až  $-15^\circ$ . Požadovaný moment kyvného pneumomotoru byl vypočten pro materiál frézy HSS v kap. 2.1.1 a má hodnotu  $30,1 \text{ N} \cdot \text{m}$ .

Kyvný pohyb skruže je možné realizovat více způsoby. Uvažoval jsem o dvou způsobech. První způsob je pomocí přímočarého pneumomotoru a využití páky, druhý způsob je použití kyvného pneumomotoru v mezipolohou.

První způsob bych realizoval dvojčinným přímočarým pneumatickým válcem, který by byl na straně pístnice i pístu vybaven oky pro upevnění válce pomocí čepů. Jeden čep je umístěn na pojezdové desce, kde by měl válec pevnou pozici uchycení. Druhý čep bude sloužit k zajištění pístnice k otočné desce, na které je umístěná skruž. Při vysouvání a zasouvání válce bude docházet díky pákovému principu k pootáčení otočné desky se skruží. Počáteční pozice otočné desky může být v případě zasunutého válce. Pomocí snímače polohy budu řídit vysouvání válce, tak aby v případě potřeby kratší drážky válec dojel jen do poloviny zdvihu a následně se vrátil do původní polohy. Toto řešení je vhodné pro vyvození vyššího momentu otočné desky, avšak pro můj účel zbytečně složité z důvodu řízení polohy pístnice. Dále by tento způsob nemusel být dost přesný z důvodu stlačitelnosti vzduchu a hystereze snímače.

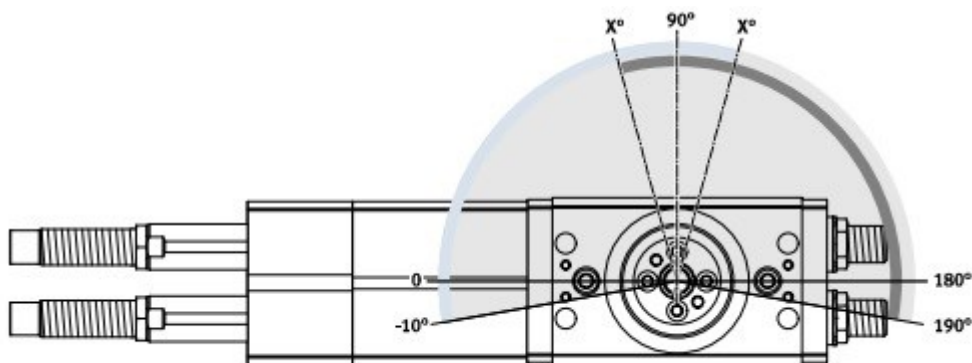


Obrázek 11 - Pákový princip s přímočarým motorem (maximální vysunutí)



Obrázek 12 - Pákový princip s přímočarým motorem (počáteční poloha)

Druhý způsob konání kyvného pohybu je za pomoci kyvného motoru. Pro dosažení kyvného pohybu v rozmezí  $-15^\circ$  až  $15^\circ$  a výchozí polohy v  $0^\circ$  lze použít obyčejný kyvný pneumomotor, avšak se stejnými nedostatky jako u přímočarého válce. Jeho řízení, by bylo složité a nepřesné. Z tohoto důvodu je vhodné použít kyvný motor s modulem mezipolohy viz. (Obrázek 13).



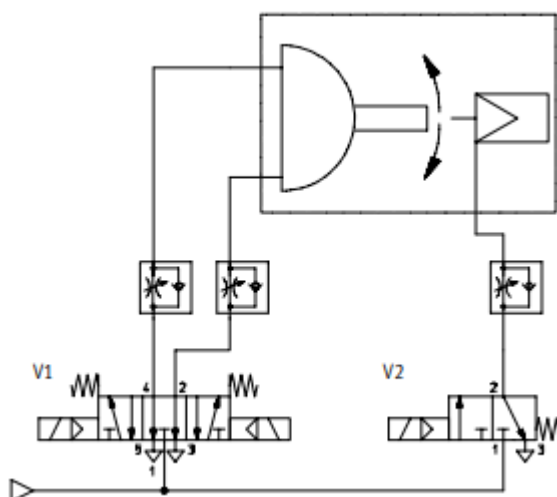
Obrázek 13 - Kyvný motor s modulem mezipolohy [10]



Pomocí modulu mezipolohy můžeme kyvný motor polohovat o dalších 90°. Do mezipolohy je možné najíždět z obou stran. Díky tohoto modulu jsem schopen realizovat kyv v rozmezí 0° až 15° a 0° až -15° od mezipolohy. Ve stavu dodání kyvného motoru od výrobce je mezipoloha nastavena na 90°. Úhel mezipolohy lze seřídit v rozmezí +-10° pomocí zašroubování nebo vyšroubování tlumičů nárazu. Mezipoloha bude výchozí poloha pro frézování.

Daný kyvný pneumomotor se vyrábí pouze ve variantě pro 180°. To značí kyv na jednu stranu o 90° od mezipolohy a na druhou od mezipolohy o dalších 90°. Tyto úhly se dají omezit dorazama na motoru pouze o +/- 10°. To značí, že abych docílil kyvu pouze o 15° na jednu, nebo na druhou stranu od mezipolohy musel jsem buď navrhnout pevné dorazy otočného stolu, které zajistí zastavení otáčení stolu po docílení kyvu o 15°. Další možností, kterou jsem zvolil je použití externích dorazů, které přišroubuji přímo na motor a jimi nastavím potřebný úhel kyvu. Tyto dorazy se dodávají jako příslušenství k těmto motorům a jsou vidět na obrázku 15. Pro snadnou montáž a seřízení těchto dorazů jsem je umístil zespod kyvného pneumomotoru.

Princip činnosti kyvného motoru je patrný na obrázku 14. Dojde-li k přestavení rozváděče do jedné krajní polohy, přivede se tlakový vzduch na písty na jedné straně motoru a k ozubeným hřebenům na obou stranách motoru. Tlakový vzduch se na hřebeny přivede navzájem z opačných stran, tak aby si ozubené hřebeny pomáhaly při protipohybu. Ozubení hřebene a pastorku do sebe zapadá. Při pohybu hřebene dochází k natáčení pastorku. Prostory, kde není přiveden tlakový vzduch se odvzdušní. Přestavení rozváděče do druhé krajní polohy způsobí stejnou situaci jako minule, jen dochází k opačnému pohybu ozubených hřebenů a tím k natáčení pastorku opačným směrem. Mezipolohu zajistíme tak, že rozváděč přestavíme do prostřední polohy. Je-li hlavní rozváděč přestaven do střední polohy a všechny pracovní prostory kyvného pneumomotoru jsou odvzdušněny, dojde k aktivaci a přestavení rozváděče 3/2, který pomocí středícího zařízení umístěného v pohonu navrátí kyvný pneumomotor zpět do mezipolohy. Kyvný pohon, modul mezipolohy a středící zařízení jsou použity ve škrceném provozu. Škrťací ventily se musí umístit co nejbližší k pohonům.



Obrázek 14 - Princip činnosti kyvného motoru

Kyvné motory s mezipolohou jsem našel u výrobců Festo a SMC. SMC má velikosti motorů od 10 do 50, u kterého je krouticí moment 5 Nm. Vzhledem k tomu že potřebuji krouticí moment 30,1 N·m vypočtený v kapitole 2.1.1, je kyvný motor od této firmy nevyhovující. Zvolil jsem tedy kyvné pohony firmy Festo označené DRRD se dvěma písty. Tyto pohony jsou ve velikostech od 16 do 63. Teoretický krouticí moment těchto pohonů při 0,6 MPa je od 1,6 N·m až do 112 N·m.

Pro svojí úlohu, kde je zapotřebí krouticí moment 30,1 jsem zvolil kyvný pohon o velikosti 50, u kterého je při 0,6 MPa udávám teoretický krouticí moment 53 N·m. Frézování drážky bude probíhat tak, aby nedocházelo k nadměrnému zatížení obráběcího nástroje. Rychlost frézování bude záviset na řezné rychlosti nástroje a velikosti odebírané třísky. Proto se dá říct, že rychlost kyvu kyvného motoru bude nízká. Díky nízké rychlosti pohybu bude zatížení kyvného motoru statické a ne dynamické. Z tohoto důvodu jsem krouticí moment násobil žádným koeficientem.

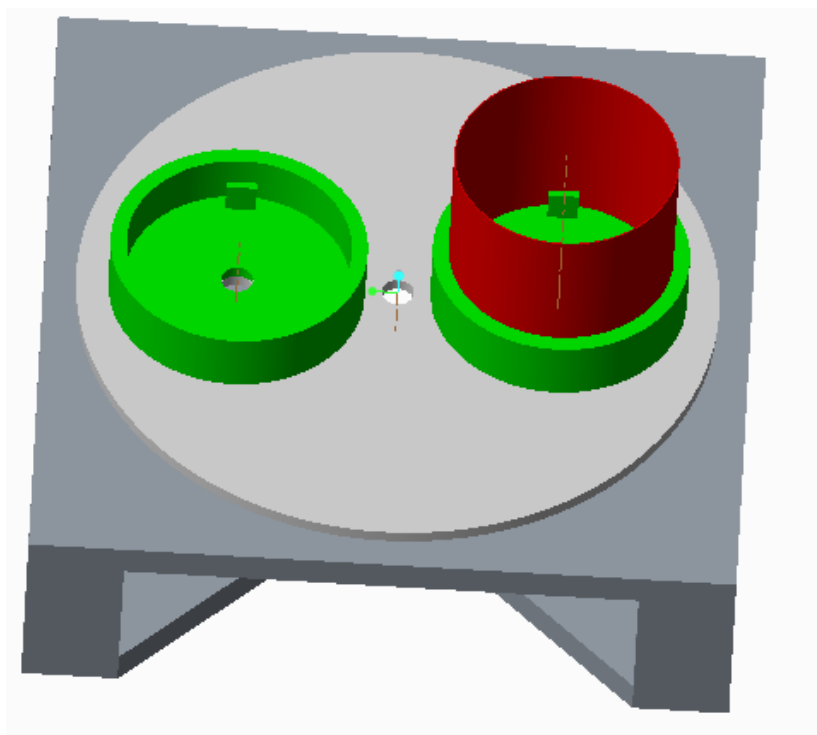


Obrázek 15 - Externí dorazy na motoru

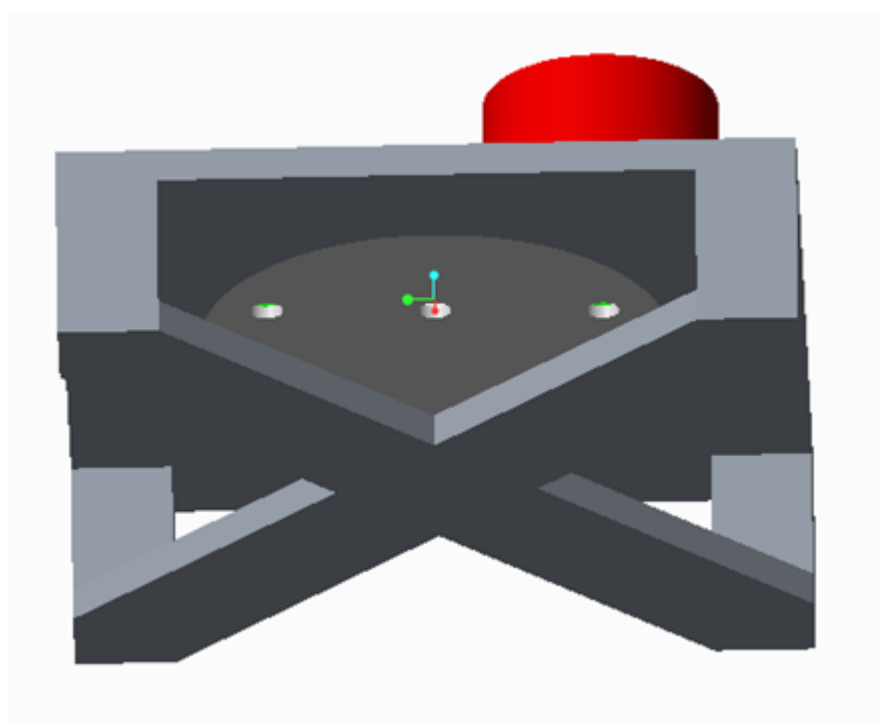
### 3 Koncepce stroje

Jedná se o koncepci jednoúčelového stroje sloužícího pro frézování drážky do ocelové skruže ventilátoru. Koncepci stroje je možné navrhnout několika způsoby, u kterých je potřeba brát ohled na náročnost výroby konstrukce, finanční náklady na výrobu konstrukce, tuhost konstrukce a její zástavbové rozměry. Uvažoval jsem o konstrukci karuselové a konstrukci s použitím lineárního vedení [11].

Karuselová konstrukce stroje je výhodná z toho pohledu, že obrobek se vrátí na jedno místo, kde ho obsluha může pohodlně vyměnit, aniž by udělala krok stranou. Z mého pohledu, je tato konstrukce náročnější na výrobu, a proto bude dražší. Náročnější by bylo i umístění a uchycení kyvných motorů, které by pro pohyb této konstrukce musely být tři. Rozvod vzduchu po stroji k těmto motorům by byl taky složitější. Kyvný pneumomotor je taky mnohem dražší než obyčejný přímočarý dvojčinný válec, který slouží k pohybu stolu u konstrukce s lineárním vedením. Zástavbové rozměry obou variant si budou podobné. Jako vhodnější jsem zvolil konstrukci s lineárním vedením, proto se karuselovou konstrukcí nebudu dále zabývat.



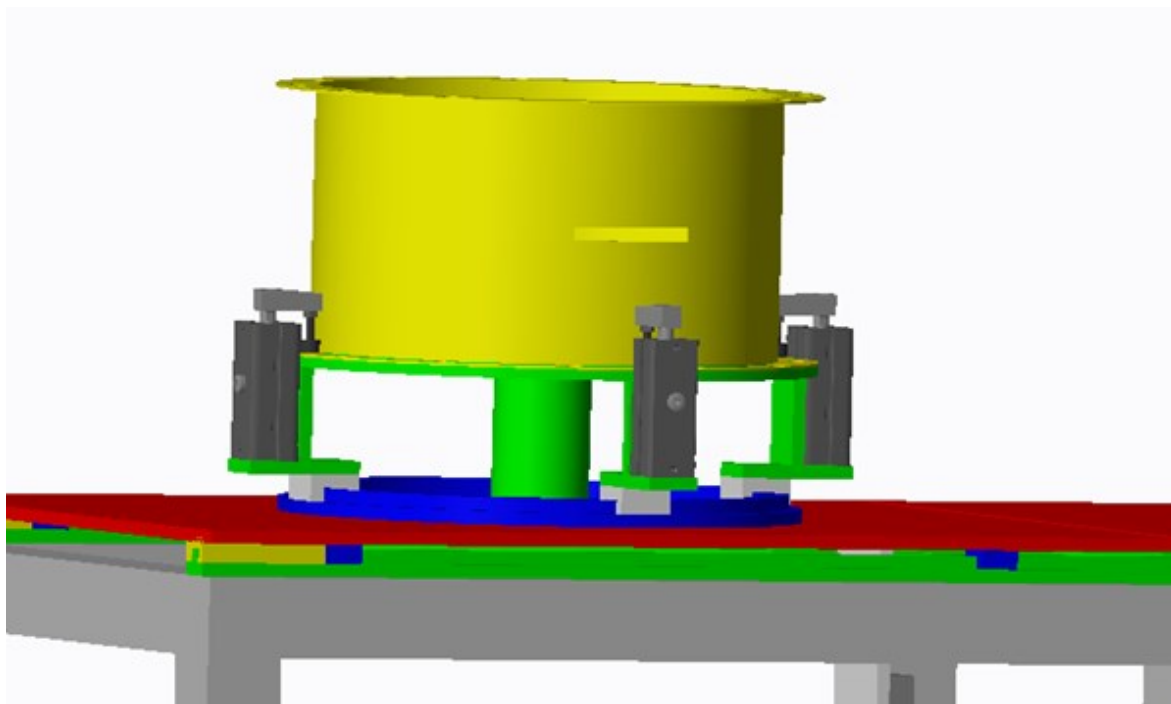
Obrázek 16 - Karuselová konstrukce



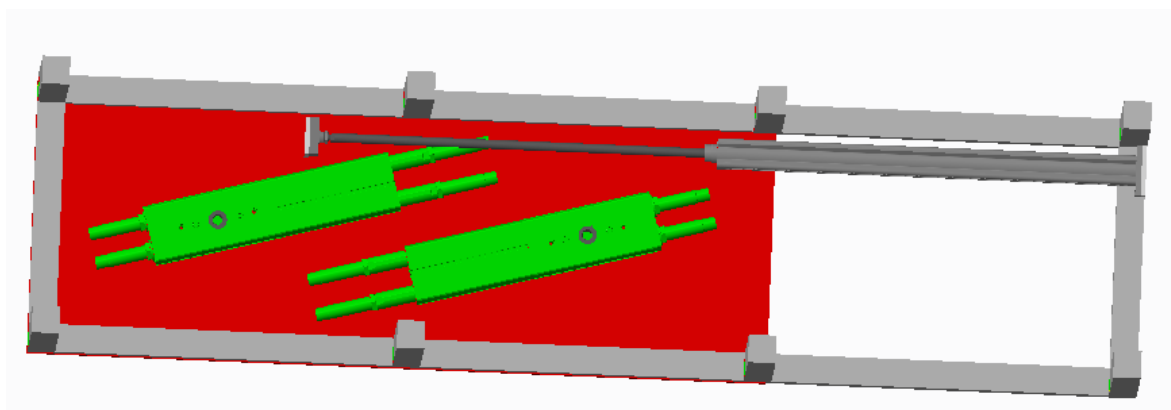
Obrázek 17 - Karuselová konstrukce 2

Konstrukce s lineárním vedením sice není výhodná z pohledu, že obrobek se nevrátí pokaždé na stejné místo a obsluha při jeho výměně bude muset udělat pár kroků stranou. Ovšem při rozměrech zařízení cca 2,1 x 1.5 m je tato vzdálenost zanedbatelná. Výhodou této konstrukce je snadná výroba z ocelových nebo hliníkových profilů a plechů. Stůl se

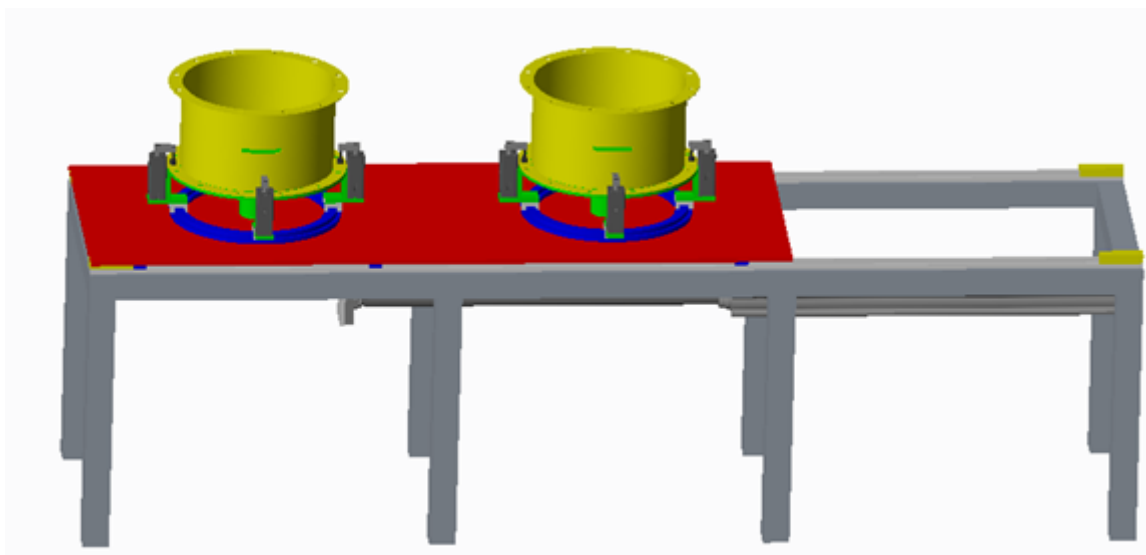
bude pohybovat s obrobkem po lineárním vedení připevněného ke konstrukci a bude uložen na vozíkách lineárního vedení, které jsou běžné dostupné u výrobců těchto vedení. [11]. Přímočarý pohyb bude zajišťovat přímočarý pneumatický dvojčinný válec s jednostrannou pístnicí. Toto řešení bude technicky jednodušší než předchozí řešení a v tom případě i levnější.



Obrázek 18 - Konstrukce s lineárním vedením - prvotní návrh



Obrázek 19 - konstrukce s lineárním vedením 2 – prvotní návrh



Obrázek 20 - Konstrukce s lineárním vedením 3 – prvotní návrh

Lineárních vedení je několik druhů u několika výrobců. Vybral jsem lineární vedení od firmy Hennlich [11], která nabízí vedení kluzná a valivá. Pro svoji konstrukci volím vedení kluzná, která jsou bezúdržbová, odolná vůči vodě, chemikáliím, nečistotám, rázům, vibracím, které by při obrábění mohly vznikat. Konstrukčně jsou tyto vedení jednodušší a levnější než lineární vedení valivá.



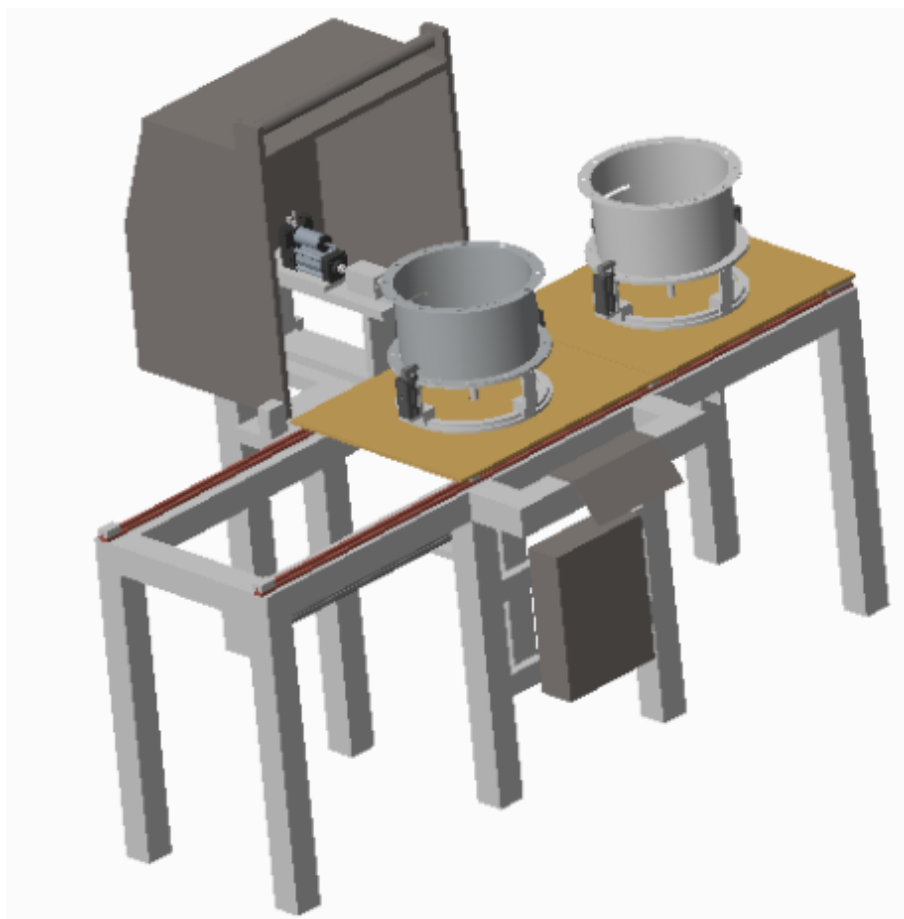
Obrázek 21 - Lineární vedení DRYLIN T [11]



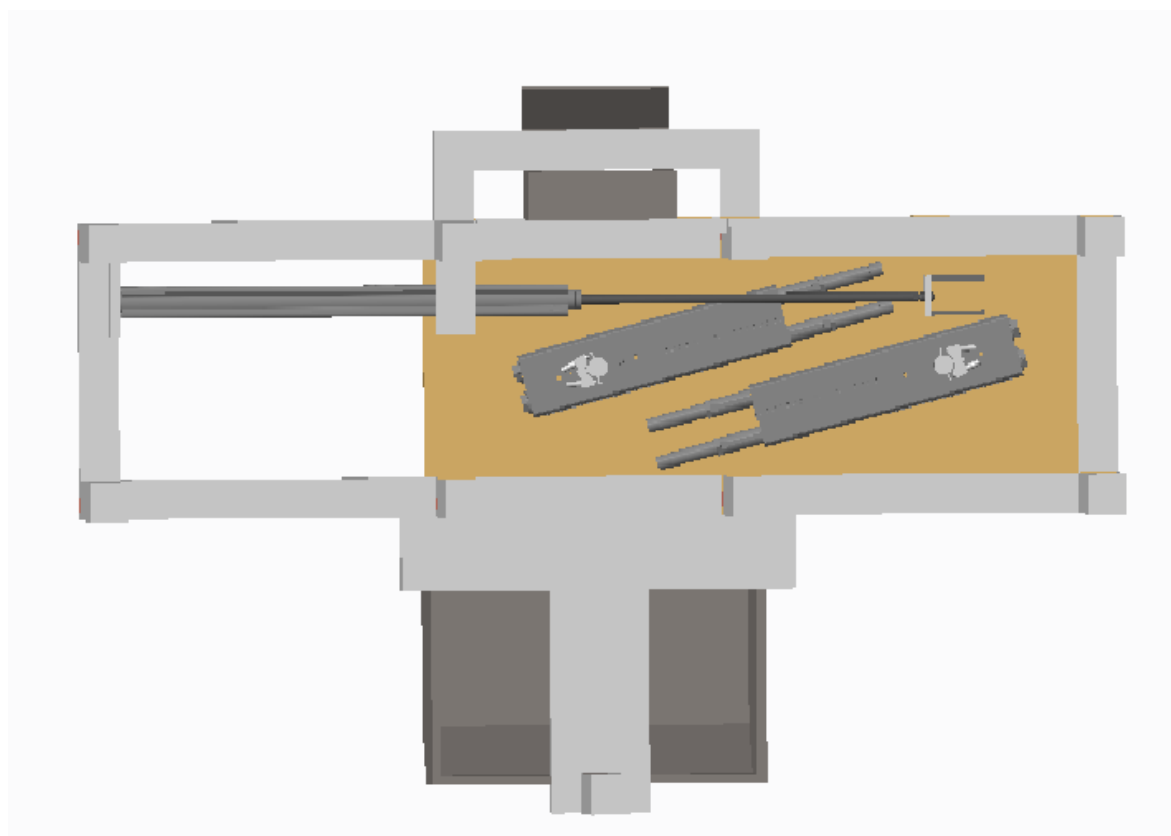
Obrázek 22 – Vozík [11]

Koncepce stroje bude obsahovat několik bezpečnostních prvků, které zabrání nechtěnému spuštění stroje, tak aby nedošlo k jeho poškození a aby nedošlo ke zranění obsluhy. Většina ochranných prvků bude zakomponována v části pneumatické, jako je třeba dvouruční ovládání stroje. Tlačítka tohoto ovládání budou umístěna na ovládacím pultu. Pult bude taky obsahovat informativní světelné diody, aby obsluha věděla, zda je frézování v činnosti, či nikoli. V jaké části se cyklus frézování nachází, uvidí obsluha i přes průhledný ochranný kryt, který je součástí konstrukce stroje. Tento kryt chrání obsluhu před odlítajícími třískami během obrábění. Zároveň kryt plní bezpečnostní funkci v pneumatické části, aby nedošlo poškození stroje. Je-li kryt zavřený, nemůže dojít k přestavení stroje a naopak je-li otevřený, nemůže dojít k frézování drážky. Bezpečnostní kryt bude obsluha ovládat ručně. Pod ovládacím pultem bude umístěna uzamykatelná skříň s rozváděči, tak aby k ní byl snadný přístup pro údržbu stroje a zároveň pneumatické rozváděče byly chráněny před okolním prostředím.

Po dohodě s vedoucím diplomové práce a dle zadání byl k diplomové práci do příloh přidán pouze dispoziční výkres celého zařízení. Výrobní výkresy jednotlivých dílů zařízení nebyly součástí zadání ani dohody s vedoucím práce a nejsou v přílohách obsaženy. Detailnější obrázky 3D modelu jsou umístěny v příloze na CD.



Obrázek 23- Konstrukce s lineárním vedením - konečný návrh

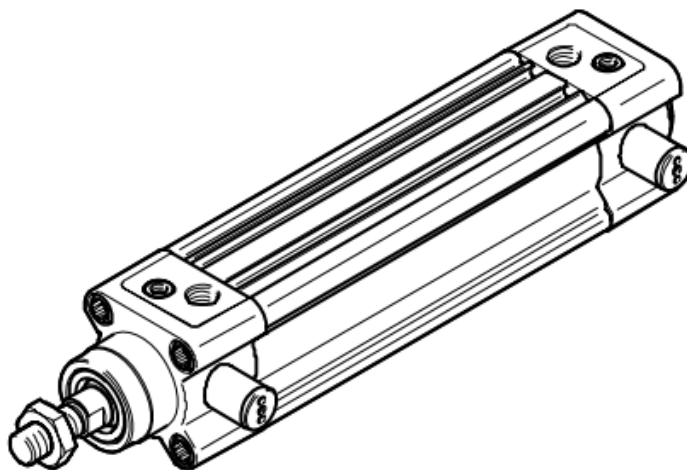


Obrázek 24 - Konstrukce s lineárním vedením – konečný návrh 2



### 3.1 Zajištění polohy stolu při frézování

Při obrábění vznikají síly, které by mohly způsobovat chvění a drobné posuvy pojízdné desky, kterou posouvá pneumatický válec. Stroj by tedy nebyl dostatečně tuhý a tím pádem by docházelo k nepřesnému vyfrézování drážky a přenášení rázů do nástroje. Z tohoto důvodu je nutné zajistit pevnou polohu stolu při frézování. Než dojde k frézování drážky, bude stůl zajištěn. Po vyfrézování drážky se stůl odjistí a přesune do druhé krajní polohy. Jak je uvedeno v kap. 3.0 pohybovat stolem bude přímočarý dvojčinný pneumatický válec s jednostrannou pístnicí. Použiji válec od firmy Festo typ DSBC s průměrem pístu 50 mm, průměr pístnice bude 20 mm a zdvihem 700mm. Válec nebude přenášet žádné velké síly, protože stůl se pohybuje po lineárním vedení, které má nízký odpor proti pohybu. Pro zajištění pevné polohy stolu při frézování bude tento válec ještě opatřen mechanickými zámky v koncové poloze. Tyto zámky slouží jako pojištění proti uvolnění. Při výpadku tlaku je pístnice uzamčena v koncové poloze. Toto řešení je nejspíše o něco dražší než použití obyčejného přímočarého válce pro pohyb stolu a malého přímočarého válce s krátkým zdvihem pro zajištění polohy stolu. Ovšem z pohledu ovládání je toto řešení jednodušší. [12]



Obrázek 25 - Dvojčinný válec se zámky v koncových polohách [12]

### 3.2 Pohon frézy

Pohon frézy bude obstarávat elektrovřeteno s frekvenčním měničem otáček. Vybral jsem elektrovřeteno firmy STEP-FOUR řady Xpert. Toto elektrovřeteno umožňuje upnout

frézu až o průměru 13 mm. Potřebný výkon vřetene pro frézování a vrtání jsem vypočetl v kap. 2.1.1. Hodnota potřebného výkonu je 259 W. Zvolené vřeteno má výkon 1 000 W. Toto vřeteno má třífázový elektromotor uložený v hliníkovém těle. Maximální otáčky vřetene jsou až 24 000 otáček za minutu. Pro nastavení potřebných otáček frézy o průměru 10 mm, kterou frézuji drážku, je nutné řídit elektromotor pomocí frekvenčního měniče. Výrobce má k tomuto vřetenu nakonfigurován frekvenční měnič Toshiba VFS11S-2015PL. Měnič umožňuje plynulou změnu otáček v rozmezí 30 až 30 000 ot · min<sup>-1</sup>. Výrobce spojení tohoto frézovacího vřetene a frekvenčního měniče nazývá jako Frézovací systém 1000 W. [13]



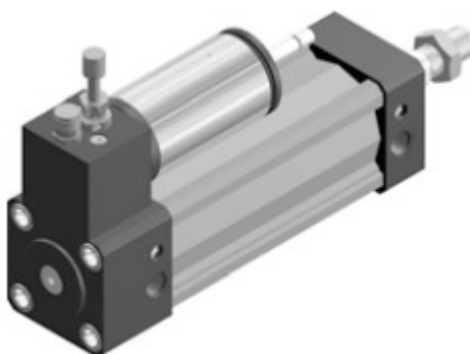
Obrázek 26 - Frézovací elektrovřeteno [13]



Obrázek 27 - Frekvenční měnič otáček [13]

Elektrovřeteno bude připevněno k vozíku lineárního kluzného vedení, které zajistí nízký odpor proti pohybu. O pohyb elektrovřetena po kluzném vedení se bude starat hydropneumatický válec série COP od firmy Pneumax. Tento válec je kombinace uzavřeného hydraulického obvodu, zabudovaného do pneumatického válce. Toto spojení vede k výsledku, kdy jednotka nabízí výhody stlačeného vzduchu jako je rychlost, v kombinaci s možností řízeného přesného pohybu daného hydraulickým obvodem. Díky

tomuto bude zajištěn pomalý a přesný pohyb frézy do záběru. Válec je dostupný ve třech základních provedeních. Provedení se liší v možnosti regulace rychlosti. Buď regulují rychlosti v obou směrech, nebo pouze rychlost při vysouvání válce, popřípadě zasouvání válce. Válců se vyrábějí ve dvou velikostech. Průměr pístu může být 50 mm nebo 63 mm. Volím průměr pístu 50 mm a zdvih válce 50 mm s regulací při vysouvání. Síla při vysouvání válce při 0,6 MPa je 1088 N. Potřebná posuvová síla pro vrtání vypočtená v kap. 2.1.1 je 278 N. Hydropneumatický válec je tedy dostatečně silný pro překonání odporu při zavrtávání frézy do ocelové skruže.



Obrázek 28 - Hydropneumatický válec [14]

#### 4 Návrh pneumatického obvodu

U návrhu pneumatického schéma jsem vycházel z několika základních podmínek, tak aby chod stroje zaručil dostatečnou ochranu obsluhy a aby nedošlo k poškození samotného stroje a jeho dílů. Z těchto důvodů je obvod opatřen několika pojistnými funkcemi, aby nedošlo k jeho omylnému spuštění, jak již bylo zmíněno v Kap. 3. Obvod jsem si rozdělil na dvě části, které jsem řešil. Jako první jsem řešil obvod pro pohyb stolu a jako druhou část jsem řešil obvod pro frézování drážky. Oba obvody na sebe navazují a je třeba splnit bezpečnostní podmínky, aby se stroj spustil. V prvním obvodu je nutné splnit tři podmínky, aby došlo k přestavení stolu s upnutými skružemi do druhé polohy. V druhém obvodu je nutné splnit dvě podmínky.

V prvním obvodu pokud obsluha vymění hotovou vyfrézovanou skruž za novou a chce pohnout stolem do předchozí polohy, musí být splněné tři podmínky.

První z podmínek je důležitá k tomu, aby obsluha při pohybu stroje měla vždy ruce na bezpečném místě, to je na ovládacím pultu. Tato podmínka je zajištěna blokem dvouručního ovládání, který zajistí to, že obsluha musí stisknout obě tlačítka ve stejnou

dobu. Tato funkce je důležitá pro to, aby obsluha pro spuštění stroje použila vždy obě ruce. Obě tlačítka je nutné pro pohyb stroje zmáčknout maximálně půl sekundy po sobě, pokud obsluha nedodrží tento čas, stroj se nerozjede. Tato časová prodleva slouží jako bezpečnostní prvek proti tomu, kdyby bylo jedno tlačítko stisknuté trvale a obsluha by stačilo stisknout jen jedno tlačítko. Z toho důvodu se musí použít tento blok dvouručního ovládání a nemohu použít prvek AND ani sériové řazení tlačítek. Tímto by nebyla zaručena dostatečná bezpečnost obsluhy, protože by neměla umístěné obě ruce na bezpečném místě. Pokud obsluha během cyklu pustí jedno z tlačítek, musí okamžitě dojít k zastavení pohybu.

Druhá podmínka a třetí podmínka je zde dána proto, aby nedošlo k poškození stroje a tím k možnému poranění obsluhy. Podmínka druhá je taková, že pokud obsluha chce, aby se stůl s upevněnými skružemi přemístil do druhé polohy, musí být otevřen ochranný kryt. Splnění této podmínky zajistí to, že během pohybu stolu do něho skruž, ani upínky upínající skruž umístěné na stole nenarazí a nepoškodí sebe ani kryt.

Třetí a opět nutnou podmínkou pro pohyb stolu je ta podmínka, že musí být zajištěná fréza. Zajištěná fréza opět zaručí to, že během pohybu stolu se skružemi do frézy ani stolu nic nenarazí a nedojde k jejich vzájemnému poškození a ohrožení obsluhy.

U druhého obvodu jsou podmínky pro spuštění cyklu frézování následující. Stůl se skruží musí být přestaven do jedné z krajních poloh pneumatického válce. Splnění této podmínky zaručí vždy stejné ustavení skruže proti fréze. Druhou podmínkou pro spuštění frézování je, že obsluha musí ručně zavřít bezpečnostní kryt. Po zavření krytu se sám spustí cyklus frézování drážky do skruže.

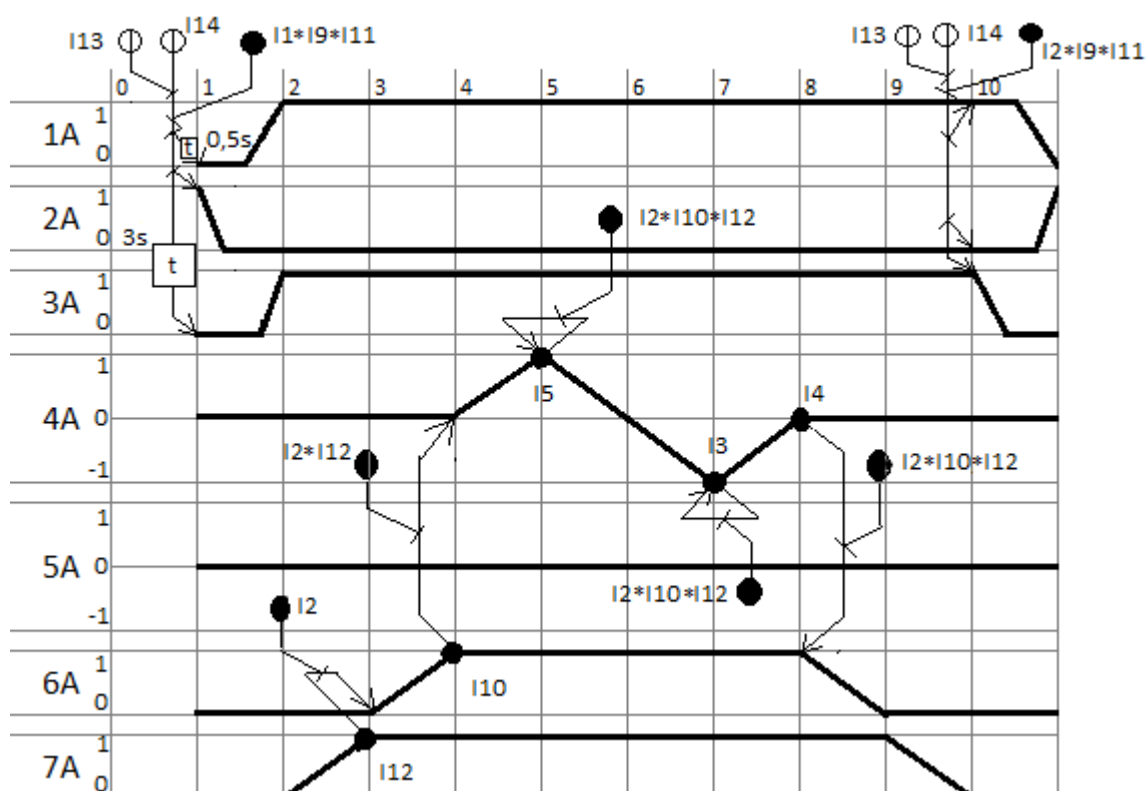
#### **4.1 Krokový diagram**

Při návrhu krokového diagramu jsem vycházel z několika podkladů uvedených v předešlých kapitolách. Vycházel jsem z navržené konstrukce, zvolených prvků pro upínání skruže a pohyb posuvných a otočných stolů. Musel jsem vzít v potaz i bezpečnostní prvky stroje, které krokový diagram ovlivňují. A v poslední řadě jsem se musel zamyslet nad tím, jak stroj bude pracovat a které prvky na sobě budou záviset. Jak je uvedeno v kap. 4, rozdělil jsem si obvody na dvě části.

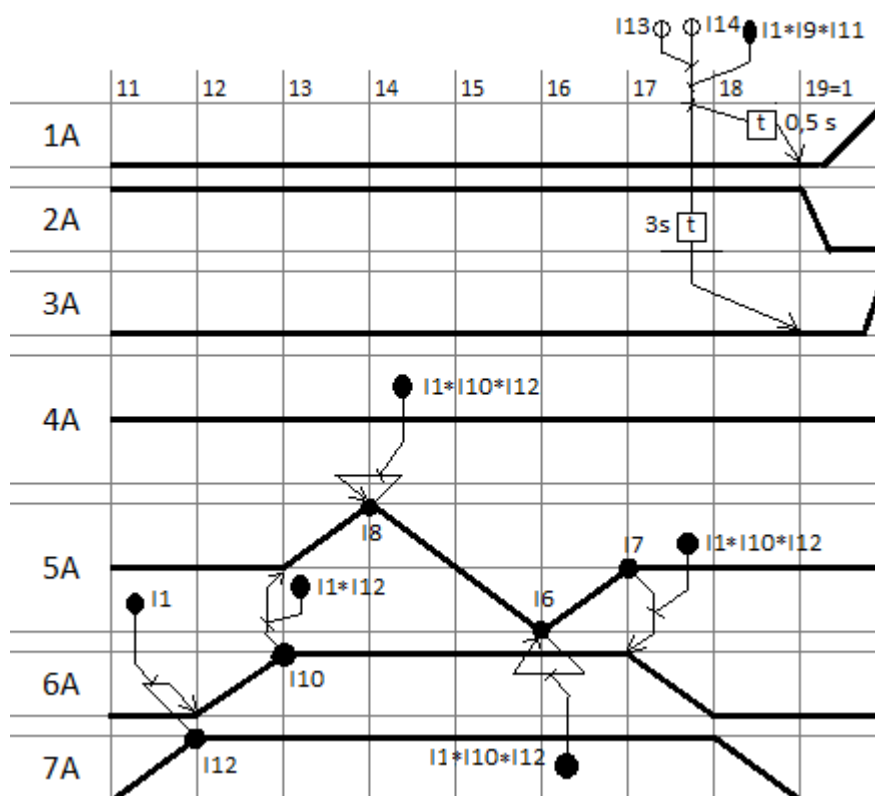
Obvod první pro pohyb stolu bude obsahovat prvky 1A, 2A a 3A. Prvek označený 1A je přímočarý dvojčinný pneumatický válec, který přesouvá posuvný stůl z jedné krajní polohy do druhé. Prvky 2A a 3A jsou kyvné upínky, které slouží k upnutí skruže.

Prvky obsažené v druhém obvodu, v obvodu pro frézování jsou 4A, 5A, 6A a 7A. Prvky označené 4A a 5A jsou kyvné pneumomotory zajišťující kyvný pohyb skruže. Prvek 6A je hydropneumatický válec, který zajišťuje pohyb elektro vřetene s frézou. Jako poslední prvek je v krokovém diagramu umístěný bezpečnostní kryt označený jako 7A.

Podle krokového diagramu budu tvořit pneumatické obvody, aby došlo ke správné souslednosti kroků jednotlivých pneumatických prvků a tím ke správné funkci stroje.



Obrázek 29 - Krokový diagram pohyb motoru 4A



Obrázek 30 - Krokový diagram pohyb motoru 5A

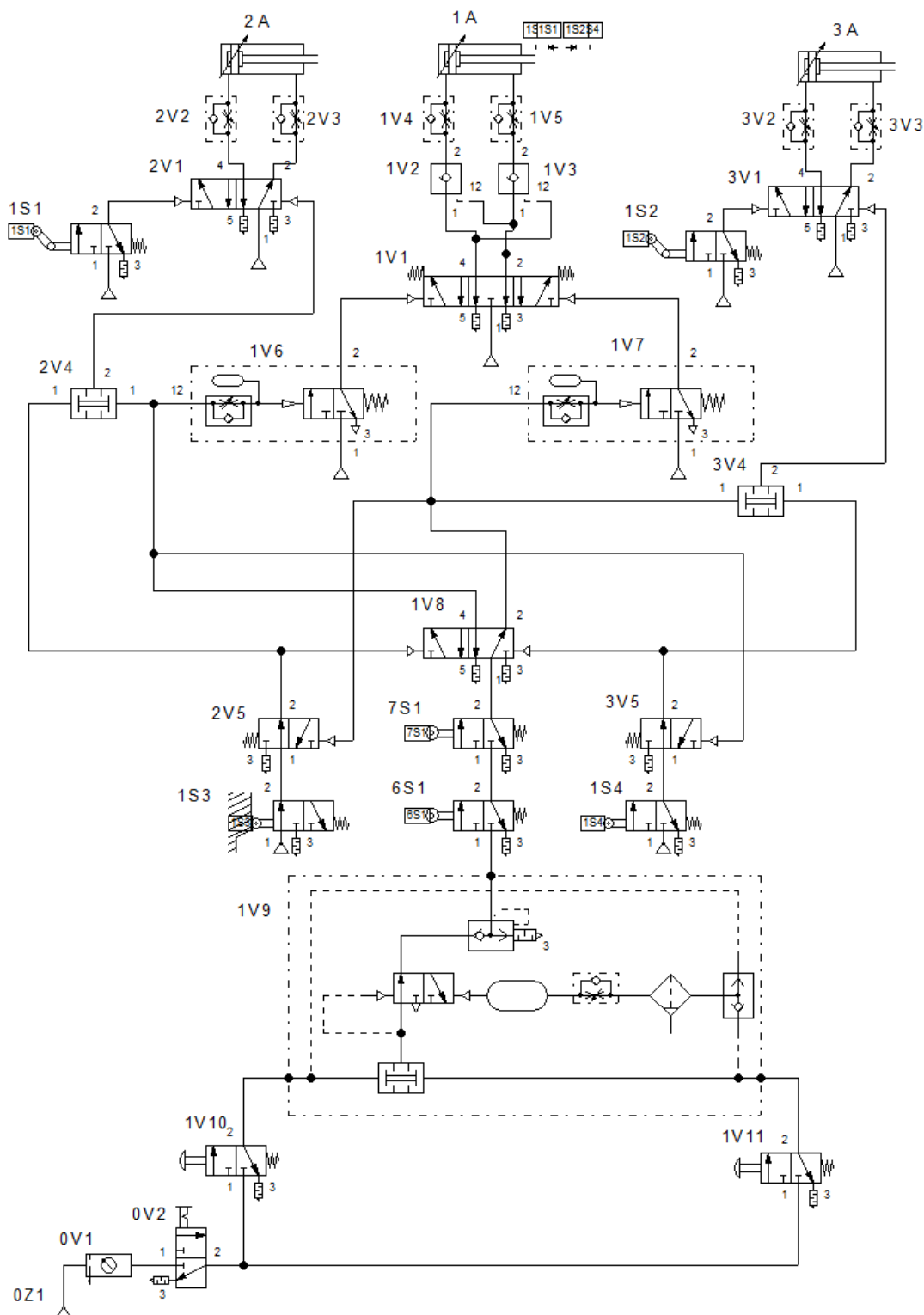
Značení v krokovém diagramu je převzato z elektropneumatického obvodu, který se nachází v kapitole 4.4. a je k vidění na obrázku 34. Pro spuštění obvodu je nutné, mít aktivních vždy několik snímačů a to z toho důvodu aby bylo vše několikrát jištěno a stroj byl bezpečný. Bezpečnostní funkce již byly popsány v kap. 4. Pro větší přehlednost jsem tyto snímače sloučil v krokovém diagramu do jedné značky.

## 4.2 Návrh pneumatického obvodu posuvu stroje

U návrhu prvního pneumatického obvodu, obvodu pro posuv stolu jsem musel vzít v potaz uvedené podmínky v kap. 4, aby byla splněná bezpečnost obsluhy a provozu stroje. Pneumatické schéma jsem navrhoval podle krokového diagramu, ve kterém vidím jednotlivé pohyby prvků a jejich propojení.

Z dříve specifikovaných prvků jsem věděl, že v tomto obvodu bude hlavní pneumatický válec, který bude zajišťovat pohyb stolu z jedné krajní polohy do druhé. Dalšími dříve specifikovanými prvky jsou zde dvě pneumatické upínky, které slouží k upnutí skruže při pohybu stolu a při frézování. Schéma jsem navrhl tak, aby se po stlačení tlačítek hlavní pneumatický válec přesunul z jedné krajní polohy do druhé a následně se obvod zastavil a nedělal nic, dokud se tlačítka opět nestlačí. Tímto jsem docílil

toho, že stroj po stlačení tlačítek obsluhou vykoná pouze jeden pracovní cyklus a skruže se ocitnou vždy tam, kde mají. Obsluha je ušetřena kontroly, jestli je stroj v požadované poloze a jestli může spustit další krok. Mnou navrhnutý pneumatický obvod je k vidění na obrázku 31.



Obrázek 31 - Schéma posuvu stolu

### **Popis funkce pneumatického obvodu posuvu stroje**

Obvod posuvu stolu se spouští současným stlačením dvou tlačítek označených 1V10, 1V11. Signál z těchto tlačítek je napojen do bloku dvouručního ovládání označeného 1V9, který plní bezpečnostní funkci popsanou v kap. 4. Stiskne-li obsluha obě tlačítka stejně a jsou splněny i další dvě podmínky zajištěné ventilem 6S1 a 7S1 tedy zajetá fréza a otevřený bezpečnostní kryt dojde k pohybu dvojčinného přímočarého pneumatického válce 1A. Tento válec má za následek pohyb stolu z jedné krajní polohy do druhé. Přestavení pneumatického válce 1A je v obou směrech zpožděno časovým zpožděním signálu. To jsou prvky 1V6 a 1V7. Tyto prvky jsou v obvodu umístěny proto, aby prvně došlo k upnutí upínky a tím k zabezpečení skruže proti pohybu při přesouvání válce a až potom k následnému pohybu pneumatického válce 1A. Těsně před dojetím válce do krajní polohy dojde k uvolnění druhé upínky.

Po dojetí válce do krajní polohy může obsluha zavřít bezpečnostní kryt a spustit cyklus frézování. Díky volným upínkám na jedné straně válce může obsluha stoje během frézování vyměnit hotový kus za nový a ušetřit tak celkový čas práce. V obvodu jsou umístěny dva 3/2 ventily, monostabilní, normálně otevřené, ovládané vzduchem označené 2V5 a 3V5. Tyto ventily jsou v obvodu umístěny proto, aby se cyklus při neustálém držení tlačítek neopakoval a obsluha nemusela hlídat, kdy tlačítka povolit a jestli je válec ve správné poloze. Díky těmto ventilům se po stlačení tlačítek provede pouze jeden cyklus a po jeho dokončení je obvod zablokován a nedojde k aktivaci nového cyklu. K aktivaci nového cyklu dojde až po vymáčknutí tlačítek a odvzdušnění celého obvodu. Po znovu stlačení tlačítek dojde opět pouze k jednomu cyklu. Po vykonání cyklu se obvod opět zablokuje. Z tabulky 5 je vidět, jak jsou nastavené ventily ovládané kladkou a sklopnou kladkou hlavního pneumatického válce 1A.

Pokud obsluha během přestavování válce pustí jedno nebo obě tlačítka, musí dojít k okamžitému zastavení pohybu stolu. Z tohoto důvodu jsou v obvodu ještě umístěny dva řízené jednosměrné ventily 1V2, 1V3. Tyto ventily mají za úkol v případě výpadku signálu zajistit nehybnou polohu stolu.



Tabulka 5 - Nastavení snímačů

Název	Začátek	Konec
1S1	10	10
1S2	690	690
1S3	0	0
1S4	700	700

### 4.3 Návrh pneumatického obvodu frézování

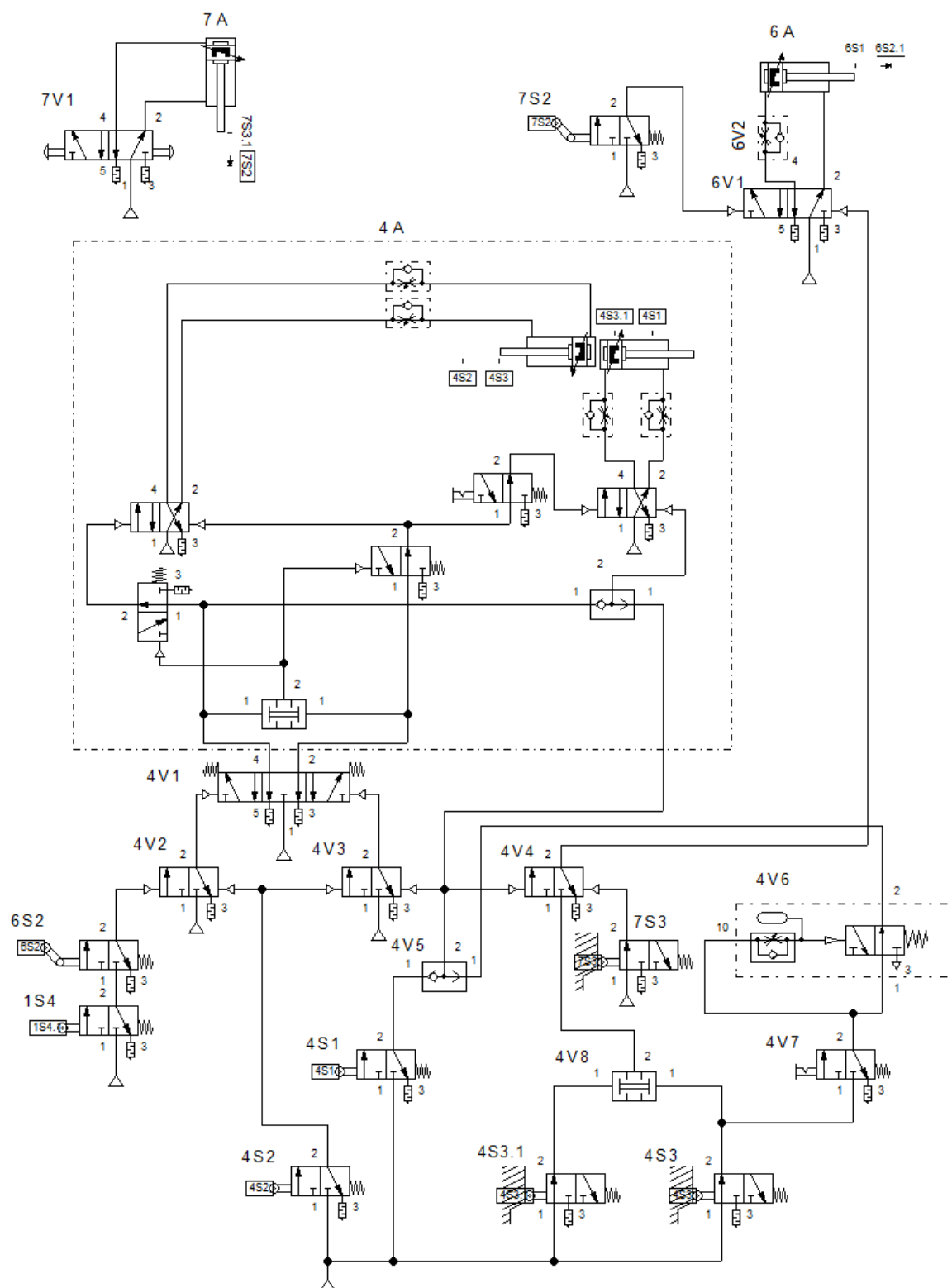
U návrhu druhého pneumatického obvodu jsem musel opět dodržet bezpečnostní podmínky uvedené v kap. 4. a řídit se podle postupu v krokovém diagramu. Navrhl jsem obvod tak, aby došlo ke spuštění cyklu až v okamžiku, kdy je hlavní pneumatický válec posuvu stolu nehybně zajištěn ve svých krajních polohách. Toto opatření ochrání stroj a frézu před nechtěným spuštěním cyklu v jiné než krajní poloze pneumatického válce. Pro zajištění bezpečnosti obsluhy je frézovací cyklus spuštěn až potom, co obsluha zavře kryt a je chráněná před odlítajícími třískami, které během obrábění vznikají. V době kdy se provádí frézování, může obsluha díky ochrannému krytu pohodlně a bezpečně vyměnit hotovou vyfrézovanou skruž za novou.

V zadání bylo uvedeno, že stroj musí umět vyfrézovat drážky o úhlu 15° nebo 30°. Z tohoto zadání tedy vyplývá požadavek umět omezit kyv kyvného pneumatického motoru pouze na jednu stranu od mezipolohy. Do obvodu jsem proto umístil ručně ovládaný 5/2 bistabilní ventil. Obsluha po jeho sepnutí přepne obvod do režimu, ve kterém dojde ke kyvu pneumatického kyvného motoru pouze na jednu stranu o úhel 15° od mezipolohy.

Vzhledem k tomu, že v programu pro kreslení schémat se v knihovně nenachází kyvný pneumomotor s mezipolohou. Nahradil jsem tento prvek dvěma dvojčinnými válci. Ty simulují kyv motoru na jednu a na druhou stranu od mezipolohy vysouváním a zasouváním pístnice. V obvodě je i umístěn válec 7A, který simuluje pohyb krytu, tedy jeho otevření a uzavření. Ve skutečnosti tento válec na stroji nebude použit, protože kryt je ovládán ručně.

Kyvné motory jsou na zařízení dva. Tyto motory jsou stejné a vykonávají v obvodu stejnou funkci. Pneumatické schéma na obrázku 32, které obstarává kyvný pohyb

pneumomotoru bude tedy v celkové sestavě obsaženo dvakrát se stejnými prvky pouze se bude lišit označení motorů a prvků.



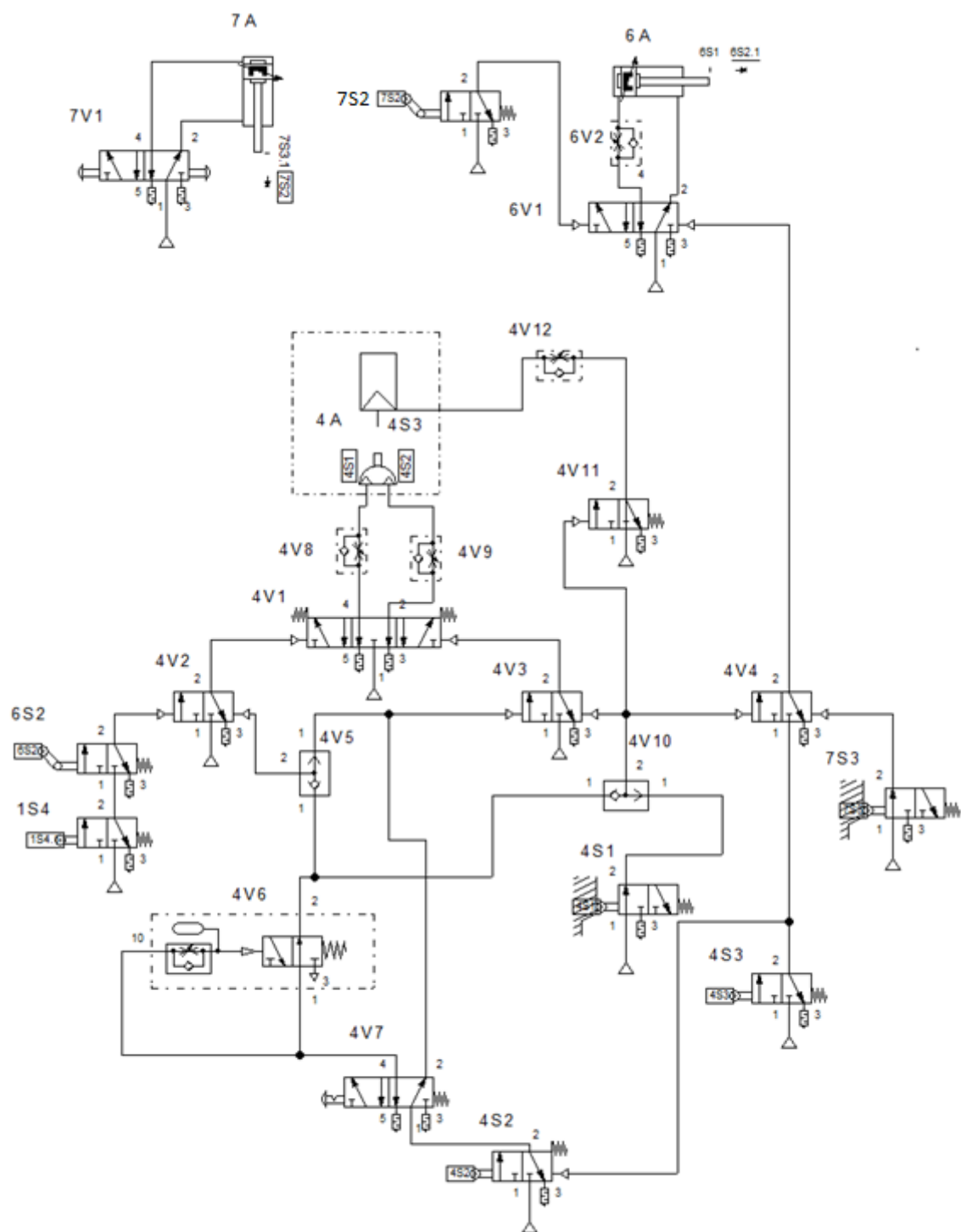
Obrázek 32 - Pneumatické schéma frézování

### **Popis funkce pneumatického obvodu frézování pro simulaci pohybu**

Jsou-li splněné podmínky pro spuštění obvodu, pak se obvod spustí zavřením krytu a sám se vykoná celý cyklus frézování. Podmínky pro spuštění jsou, že musí být hlavní válec posuvu stolu v jedné z krajích poloh. Podle toho, ve které poloze se válec nachází, se spustí jeden ze dvou kyvných pneumomotorů. Po zavření bezpečnostního krytu obsluhou se spustí posuv frézy pomocí hydropneumatického válce a ta se do skruže pomalu zavrtá. Po zavrtání frézy do skruže dojde k přestavení hlavního rozváděče 4V1, nebo 5V1 a kyvný motor koná kyv na jednu stranu o 15°. Po natočení motoru o 15° dojde k sepnutí koncového spínače, který přestaví hlavní rozváděč do druhé krajní polohy a kyvný motor koná kyv do mezipolohy a následně o dalších 15° na druhou stranu, kde dojde k sepnutí koncového spínače a motor se díky středícímu válci vrátí do mezipolohy. Po dokončení kyvu motoru dojde v mezipoloze k aktivaci snímače, který způsobí zajetí frézy zpět do výchozí polohy. Tímto je cyklus frézování ukončen, rozsvítí se dioda vyjeté frézy na ovládacím pultu a obsluha může otevřít ochranný kryt.

V zadání byl požadavek na frézování dvou druhů drážek. Drážka 30° se vyrobí tím, že kyvný pneumomotor vykoná kyv na obě strany. Drážka 15° se vyrobí tak, že kyvný pneumomotor vykoná kyv pouze na jednu stranu a vrátí se do mezipolohy, kde svůj pohyb ukončí. Z tohoto důvodu jsou v obvodu dva 3/2 ventily ovládané tlačítkem s aretací. Po přestavení těchto tlačítek se omezí kyv pneumomotoru pouze na jednu stranu od mezipolohy a dojde k vyfrézování 15° drážky. Po dojetí motoru do mezipolohy se fréza opět sama zasune do původní polohy.

Schéma, podle kterého lze zapojit kyvný pneumomotor s mezipolohou je na obrázku 33. Toto schéma se od simulačního schémata liší v tom, že přímočaré lineární dvojčinné válce a prvky nad hlavním rozváděčem nahradím kyvným pneumomotorem s mezipolohou. Skutečné schéma obsahuje podobně složené prvky ovšem s drobnými změnami v zapojení. Princip obou schémat a cyklus frézování jsou stejné na obou schématech.

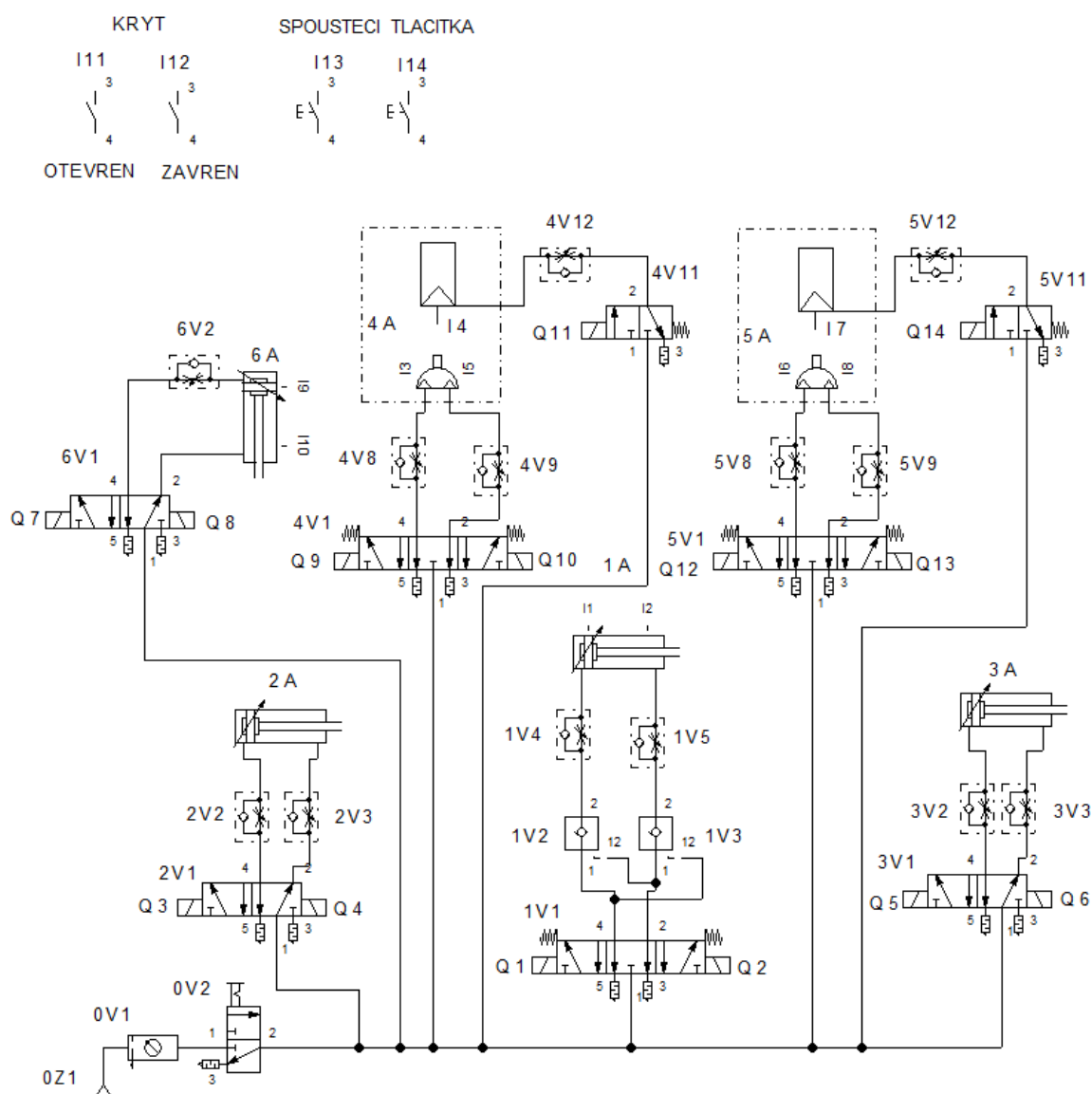


Obrázek 33 - Obvod pro frézování skutečný

## 4.4 Elektropneumatický obvod

Schéma v předchozí kapitole ovládané mechanicky a pneumatickým signálem obsahuje velké množství prvků, což má za následek, že schéma je složité. Umístění takového množství prvků na stroj a jejich zapojení by bylo složité a pracné. V případě poruchy nějakého prvku by bylo i obtížnější tuto poruchu najít a opravit. To by prodlužovalo čas opravy a docházelo k dlouhým prostojům stroje.

Pro zjednodušení funkčního schéma navrhnu obvod z ventilů řízených elektricky. V obvodu bude mnohem méně prvků než u předchozí varianty. Prvky jako škrtkové ventily a pneumatické zámky v obvodu zůstanou.



Obrázek 34 - Elektropneumatické schéma

Schéma elektrického řízení rozváděčů na obrázku 34 je mnohem jednodušší na umístění ventilů na stroj a jejich propojení s pohony. V tomto případě bude jednodušší i hledání poruchy v obvodu a čas prostojů bude kratší. U této varianty odpadl ze schématu i blok dvojručního ovládání a tlačítkové ventily. Tato bezpečnostní funkce bude naprogramována v řídicím automatu PLC a spouštěna dvěma elektrickými tlačítky.

## 5 Cenové porovnání obou variant

Pro zpracované varianty udělám cenovou rozvahu a zjistím, která varianta je levnější. Abych mohl udělat cenovou rozvahu musím zjistit, jaký průtok vzduchu budu pro pohyb stroje potřebovat. Na základě vypočteného průtoku vzduchu zvolím velikosti prvků, tak abych mohl stanovit jejich cenu.

### 5.1.1 Výpočet potřebného průtoku vzduchu a určení světlosti použitých prvků

Potřebný průtok vzduchu budu počítat pro největší prvek v obvodu, kterým je pneumatický dvojčinný přímočarý motor s jednostrannou pístnicí. Parametry válce jsem zvolil v kap. 3.1. Vybral jsem válec 50/20-700. Abych vypočet rychlost posuvu daného válce musím si určit, za jak dlouho se má válec přesunout z jedné krajní polohy do druhé. Tato doba odpovídá době, po kterou bude muset obsluha držet zmáčknuté obě tlačítka, aby se válec pohyboval. Volím dobu přestavení válce  $t = 3s$ .

$$v = \frac{s}{t} [m \cdot s^{-1}] \quad (4.1)$$

$$v = \frac{0,7}{3} = 0,233 m \cdot s^{-1}$$

Vypočtenou rychlost posuvu pneumatického válce posuvu stolu dosadím do vzorečku pro výpočet průtoku.

#### Potřebný průtok pro vysouvání válce

$$Q = v \cdot S [m^3 \cdot s^{-1}] \quad (4.2)$$

$$Q = 0,233 \cdot \frac{\pi \cdot 0,05^2}{4} = 4,575 \cdot 10^{-4} m^3 \cdot s^{-1} = 27,45 dm^3 \cdot min^{-1}$$

### Potřebný průtok pro zasouvání válce

$$Q = v \cdot S = 0,233 \cdot \frac{\pi \cdot (0,05^2 - 0,02^2)}{4} = 3,84 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} = 23,06 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

Vypočtený průtok stlačeného vzduchu přepočítám na normální podmínky, protože výrobci pneumatických prvků většinou průtok u těchto prvků udávají v normálních litrech za minutu. Přetlak v síti, ze které budu dodávat stlačený vzduch prvkům je 0,6 MPa.

$$Q_N = Q \cdot \frac{p_{abs}}{p_1} [\text{m}_N^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (4.3)$$

$$Q_N = 4,575 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{7}{1} = 3,2 \text{ m}_N^3 \cdot \text{s}^{-1} = 192,15 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

Toto je průtok, podle kterého budu volit světlost použitých prvků. Potřebný průtok pro pohyb kyvných pneumomotorů a ostatních prvků počítat nebudu, protože jejich kyv bude pomalý a množství vzduchu protékané prvky malé.

#### 5.1.2 Cenové srovnání obou variant

Podle vypočteného normálního průtoku vzduchu budu volit prvky s průtokem do 500 l/min. Z cenového srovnání obou variant určím, která varianta bude levnější. [15], [16]

Tabulka 6 – Cena pneumatického řízení

PNEUMATICKÉ ŘÍZENÍ			
POSUV STOLU 1A, 2A, 3A			
Označení prvku	Popis prvku	Počet ks	Cena
1A	Dvoučinný válec	1	4420
1V1	5/3 hlavní rozváděč, monostabilní	1	2600
1V2,1V3	Pneumatický zámek	2	1560
1V4, 1V5	Škrťící ventil v kombinaci s jednosměrným ventilem	2	520
1V6, 1V7	Časové zpoždění NC	2	5200

1V8	5/2 rozváděč bistabilní	1	1300
1V9	Blok dvouručního ovládání	1	5980
1V10, 1V11	3/2 rozváděč, ovládaný tlačítkem	2	1560
1S1, 1S2	3/2 rozváděč ovládaný sklopnou kladkou	2	1560
1S3, 1S4	3/2 rozváděč ovládaný kladkou	2	1300
2A	Pneumatická upínka	1	6240
2V1	5/2 rozváděč bistabilní	1	1300
2V2, 2V3	Škrťací ventil v kombinaci s jednosměrným ventilem	2	520
2V4	AND	1	390
2V5	3/2 rozváděč, NO	1	780
3A	Pneumatická upínka	1	6240
3V1	5/2 rozváděč bistabilní	1	1300
3V2, 3V3	Škrťací ventil v kombinaci s jednosměrným ventilem	2	520
3V4	AND	1	390
3V5	3/2 rozváděč, NO	1	780
<b>KYVNÝ PNEUMOMOTOR 4A</b>			
4A	Kyvný pneumomotor	1	41600
4V1	5/3 rozváděč, monostabilní	1	2600
4V2, 4V3, 4V4	3/2 rozváděč, bistabilní	3	2340
4V5, 4V10	OR	2	780
4V6	Krácení signálu	1	1300
4V7	5/2 rozváděč, ovládaný tlačítkem s aretací	1	910
4V8, 4V9, 4V12	Škrťací ventil v kombinaci s jednosměrným ventilem	3	780
4V11	3/2 rozváděč, monostabilní	1	780
4S1, 4S2, 4S3	3/2 rozváděč ovládaný kladkou	3	1950
<b>KYVNÝ PNEUMOMOTOR 5A</b>			
5A	Kyvný pneumomotor	1	41600
5V1	5/3 rozváděč, monostabilní	1	2600
5V2, 5V3, 5V4	3/2 rozváděč, bistabilní	3	2340
5V5	OR	2	780
5V6	Krácení signálu	1	1300
5V7	3/2 (5/2) rozváděč, ovládaný tlačítkem s aretací	1	910
5V8, 5V9, 5V12	Škrťací ventil v kombinaci s jednosměrným ventilem	3	780
5V11	3/2 rozváděč, monostabilní	1	780



5S1, 5S2, 5S3	3/2 rozváděč ovládaný kladkou	3	1950
<b>FRÉZA 6A</b>			
6A	Dvojčinný hydropneumatický válec	1	1300
6V1	5/2 rozváděč, bistabilní	1	1300
6S1, 6S2	3/2 rozváděč ovládaný sklopnou kladkou	2	1560
<b>KRYT 7A</b>			
7S1	3/2 rozváděč, ovládaný kladkou	1	650
7S2	3/2 rozváděč, ovládaný sklopnou kladkou	1	780
<b>Cena za prvky celkem (Kč):</b>			<b>156130</b>

Tabulka 7 – Cena elektro řízení

<b>ELEKTRO ŘÍZENÍ</b>			
<b>POSUV STOLU 1A, 2A, 3A</b>			
<b>Označení prvku</b>	<b>Popis prvku</b>	<b>Počet ks</b>	<b>Cena</b>
1A	Dvoučinný válec	1	4420
1V1	5/3 hlavní rozváděč, monostabilní	1	3120
1V2, 1V3	Pneumatický zámek	2	1560
1V4, 1V5	Škrtící ventil v kombinaci s jednosměrným ventilem	2	520
2A	Pneumatická upínka	1	6240
2V1	5/2 rozváděč bistabilní	1	1300
2V2, 2V3	Škrtící ventil v kombinaci s jednosměrným ventilem	2	520
3A	Pneumatická upínka	1	6240
3V1	5/2 rozváděč bistabilní	1	1300
3V2, 3V3	Škrtící ventil v kombinaci s jednosměrným ventilem	2	520
I1, I2	Elektrické snímače	2	800
<b>KYVNÝ PNEUMOMOTOR 4A</b>			
4A	Kyvný pneumomotor	1	41600
4V1	5/3 rozváděč, monostabilní	1	3120
4V8, 4V9, 4V12	Škrtící ventil v kombinaci s jednosměrným ventilem	3	780
4V11	3/2 rozváděč, monostabilní	1	1040

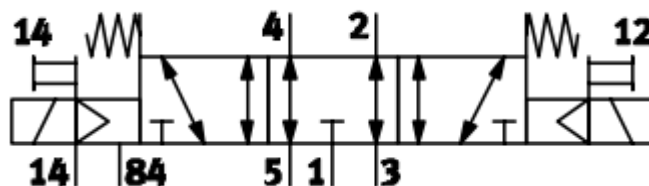
I3, I4, I5	Elektrické snímače	3	1200
<b>KYVNÝ PNEUMOMOTOR 5A</b>			
5A	Kyvný pneumomotor	1	41600
5V1	5/3 rozváděč, monostabilní	1	3120
5V8, 5V9 , 5V12	Škrtkový ventil v kombinaci s jednosměrným ventilem	3	780
5V11	3/2 rozváděč, monostabilní	1	1040
I6, I7, I8	Elektrické snímače	3	1200
<b>FRÉZA 6A</b>			
6A	Dvojčinný hydropneumatický válec	1	1300
6V1	5/2 rozváděč, bistabilní	1	1300
I9, I10	Elektrické snímače	2	800
<b>KRYT 7A</b>			
I11, I12	Elektrické snímače	2	800
<b>ŘÍDÍCÍ PRVEK PLC</b>			
	Siemens LOGO!	1	10000
I13, I14	Spouštěcí tlačítka	2	1000
<b>Cena za prvky celkem (Kč):</b>			<b>137220</b>

Z cenového srovnání vyšla varianta s elektrickým ovládáním ventilů levněji o cca 20 000 Kč, než varianta s pneumaticky ovládanými prvky. Toto je druhý argument, proč pro ovládání stroje použít takto řízené prvky. Další výhodou tohoto ovládání již byla zmíněna v kap.4.4, že díky menšímu počtu ventilů v obvodu bude jejich montáž na stroji a propojení s pohony jednodušší, rychlejší a levnější. Variantu s elektricky ovládanými prvky volím tedy jako vhodnější.

## 6 Výběr prvků

Všechny ventily 5/3, 5/2, 3/2 volím jako ventily určené k připojení na připojovací desku s výstupy na tělese. Napájecí příводы (1, 3 a 5) jsou propojeny s připojovací deskou. Pracovní výstupy (2, 4) jsou na ventilu. Elektrické připojení je provedeno variabilními elektrickými připojovacími deskami.

### 6.1.1 Rozváděč 5/3, uzavřená střední poloha



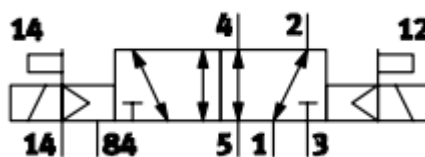
Obrázek 35 - Ventil 5/3, ve střední poloze odvětráný [17]

Tento ventil je v elektropneumatickém obvodu obsažen dvakrát. Označení ventilu ve schématu je 4V1 a 5V1. Tento ventil je 5-ti cestný a 3 polohový. Jedná se o ventil monostabilní, to znamená, že po ztrátě řídicího signálu se ventil pomocí mechanických pružin přestaví do střední polohy. Ventil slouží k ovládání kyvného pneumomotoru. Označení ventilu dle katalogu firmy Festo je Elektromagnetický ventil VUVG kód ventilu P53E. Ventil bude připojen na připojovací desku. [17]

Tabulka 8 - Parametry 5/3 ventilu

Pracovní výstup	G 1/8
Velikost ventilu	14
Průtok [l/min]	580

### 6.1.2 Rozváděč 5/2, bistabilní



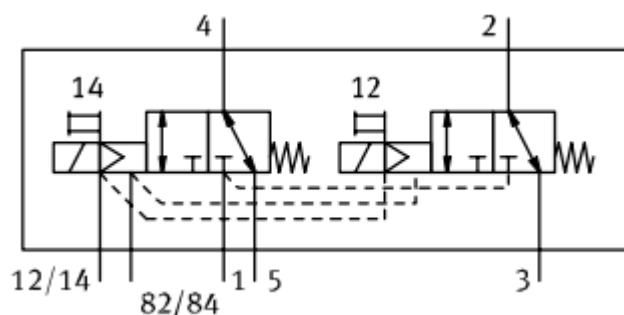
Obrázek 36- Ventil 5/2, bistabilní [17]

Tento ventil je v elektropneumatickém obvodu obsažen třikrát. Označení ventilu ve schéma je 2V1, 3V1 a 6V1. Tento ventil je 5-ti cestný 2 polohový. Je bistabilní, to znamená, že po obdržení řídicího signálu se ventil přestaví. Ventil je přestaven i po zániku tohoto signálu, není zde žádný vratný člen. Ventil se přestaví zpět až po obdržení řídicího signálu z druhé strany. Ventil v obvodu slouží k ovládání upínek a k ovládání posuvu frézy. Označení ventilu dle katalogu firmy Festo je Elektromagnetický ventil VUVG kód ventilu B52. Ventil bude připojen na připojovací desku. [17]

Tabulka 9 - Parametry ventilu 5/2

<b>Pracovní výstup</b>	G 1/8
<b>Velikost ventilu</b>	14
<b>Průtok [l/min]</b>	730

### 6.1.3 Rozváděč 3/2, monostabilní



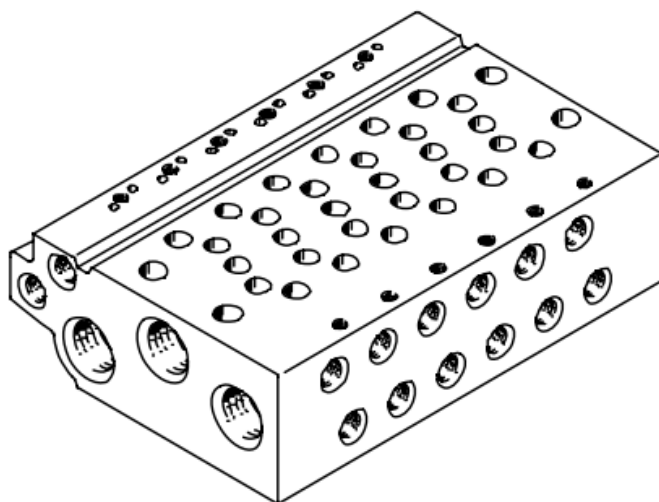
Obrázek 37 - Ventil 3/2, monostabilní [17]

Tento prvek je složen ze dvou 3/2 ventilů. V elektropneumatickém schéma jsou obsaženy dva 3/2 ventily. Jeden tento prvek tedy v obvodu nahradí dva samostatné ventily. Označení ventilu ve schéma je 4V11 a 5V11. Tento ventil je 3 cestný 2 polohový. Jedná se o ventil monostabilní. V obvodu slouží k ventil k ovládání středícího zařízení kyvného motoru. Označení ventilu dle katalogu firmy Festo je Elektromagnetický ventil VUVG kód ventilu T32C-M. Ventil bude připojen na připojovací desku. [17]

Tabulka 10 - Parametry 3/2 ventilu

<b>Pracovní výstup</b>	G 1/8
<b>Velikost ventilu</b>	14
<b>Průtok [l/min]</b>	520

#### 6.1.4 Připojovací deska



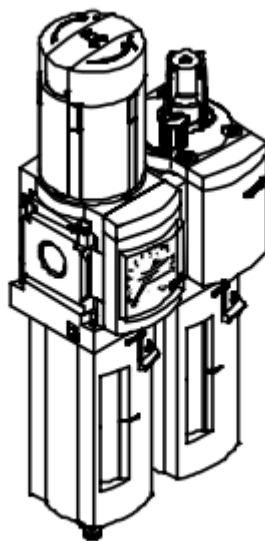
Obrázek 38- Připojovací deska [17]

Připojovací deska je určena pro ventily 5/3, 5/2, 2x 3/2. Připojovací deska bude mít 8 pozic pro připojení všech rozváděčů obsažených v elektropneumatickém obvodu. Označení připojovací desky dle katalogu firmy Festo je VABM.

Tabulka 11 - Parametry připojovací desky

<b>Pracovní výstup</b>	G 1/8
<b>Velikost ventilu</b>	14 W
<b>Počet pozic</b>	8

### 6.1.5 Jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu



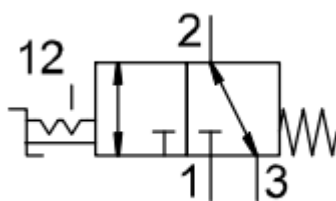
Obrázek 39- Jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu [18]

Jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu spolu se spouštěcím ventilem bude umístěna mimo ventilovou skříňku, tak aby k ní obsluha měla snadný přístup. Ventilová skříň bude uzamčená, aby do této části stroje měla přístup jen údržba stroje. Jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu bude obsahovat filtr, manometr a redukční ventil. Označení jednotky dle výrobce je MSB-FRC. [18]

Tabulka 12 - Parametry jednotky pro úpravu stlačeného vzduchu

<b>Pracovní výstup</b>	G 1/8
<b>Velikost ventilu</b>	4
<b>Regulační rozsah [bar]</b>	0,3 – 7
<b>Jemnost filtru [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	5
<b>Průtok [l/min]</b>	1500

### 6.1.6 Spínací ventil



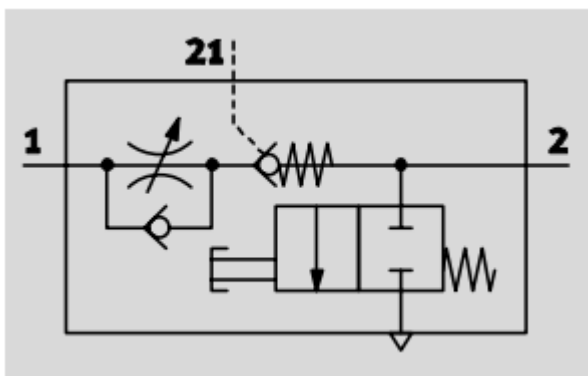
Obrázek 40 - Ventil 3/2, ručně ovládaný [19]

Tento ventil je v obvodu umístěn hned za jednotkou pro úpravu stlačeného vzduchu. Je ovládaný ručně a v obvodu slouží ke spouštění a odvětrání pneumatických zařízení. Tento ventil je v katalogu u výrobce označen Spínací ventil MS4, řada MS.

Tabulka 13- Parametry spínacího ventilu

Pracovní výstup	G 1/8
Velikost ventilu	MS4
Průtok [l/min]	1200

### 6.1.7 Řízený zpětný ventil, jednosměrný škrťací ventil



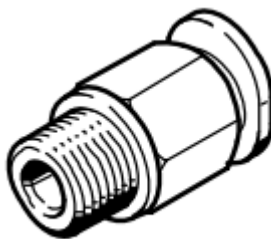
Obrázek 41 - Kombinovaný ventil [20]

Jednosměrný škrťací ventil typu VFOF je ventil, který kombinuje funkci řízeného zpětného ventilu s ručním odvětráním a jednosměrného škrťacího ventilu. Tento ventil bude umístěn mezi hlavním rozváděčem a pneumatickým válcem. Pro dosažení požadované rychlosti bude prvek vždy trochu uškrcen. Požadovaná rychlost stroje se ventilem nastaví až po montáži stroje.

Tabulka 14- Parametry kombinovaného ventilu

<b>Pracovní výstup</b>	G 1/4
<b>Průtok [l/min]</b>	500

#### 6.1.8 Šroubení G1/8



Obrázek 42 – Šroubení [22]

Toto šroubení v obvodě použiji u jednotky pro úpravu stlačeného vzduchu a u hlavního 5/3 rozváděče. Ve výpočtu průtokové propustnosti budu počítat se 4 kusy tohoto šroubení. Jedná se o šroubení s nástrčnými koncovkami a jeho označení v katalogu je QSM.

Tabulka 15 - Parametry šroubení

<b>Pracovní výstup</b>	G 1/8
<b>Průtok [l/min]</b>	940

#### 6.1.9 Hadice

Použiji hadici z plastu s kalibrovaným vnějším průměrem typ PAN. Tato hadice bude vedení mezi hlavním rozváděčem a kombinovaným ventilem umístěným přímo na pneumatickém válci. Délku hadice zvolím 1,5 m. [23] [24]

Tabulka 16 - Parametry hadice

<b>Vnější průměr [mm]</b>	6
<b>Průtok [l/min]</b>	1200



## 6.2 Kontrola propustnosti

Pro zvolené prvky jsem provedl kontrolu propustnosti, abych věděl, zda jsem dobře zvolil jejich velikost a jestli se k válci dostane potřebný průtok pro jeho přestavení z jedné krajní polohy do druhé za 3s. Kontroloval jsem prvky pouze ve větvi k motoru, jelikož toto je prvek, který potřebuje největší průtok vzduchu. Do výpočtu zasahuje jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu, spínací ventil, ventil 5/3, kombinovaný ventil, 4 krát šroubení G 1/8 a 1,5m hadice. [24]

$$Q_{EKV} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{1500^2} + \frac{1}{1200^2} + \frac{1}{580^2} + \frac{1}{500^2} + \frac{4}{940^2} + \frac{1}{1200^2}}} = 273,9 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \quad (4.4)$$

$$Q_{EKV} \geq Q_N \quad (4.5)$$

$$273,9 \geq 192,15$$

Zvolené prvky vyhovují svojí propustností a k válci se dostane potřebné množství vzduchu po jeho přestavení.

## 6.3 PLC Siemens LOGO!

PLC Siemens LOGO! Je zařízení, které v jednom modulu pojí několik funkcí. Jedná se o spínací, časové, logické a speciální funkce. Tento modul je vhodný k řízení elektromagnetických rozváděčů obsažených v obvodu. Jelikož pro řízení mého obvodu potřebuji více vstupů a výstupů, než nabízí základní modul, musím tento modul rozšířit o rozšiřující modul s dalšími vstupy a výstupy. Pro napájení modulu byl použit napájecí zdroj LOGO! POWER. [25]

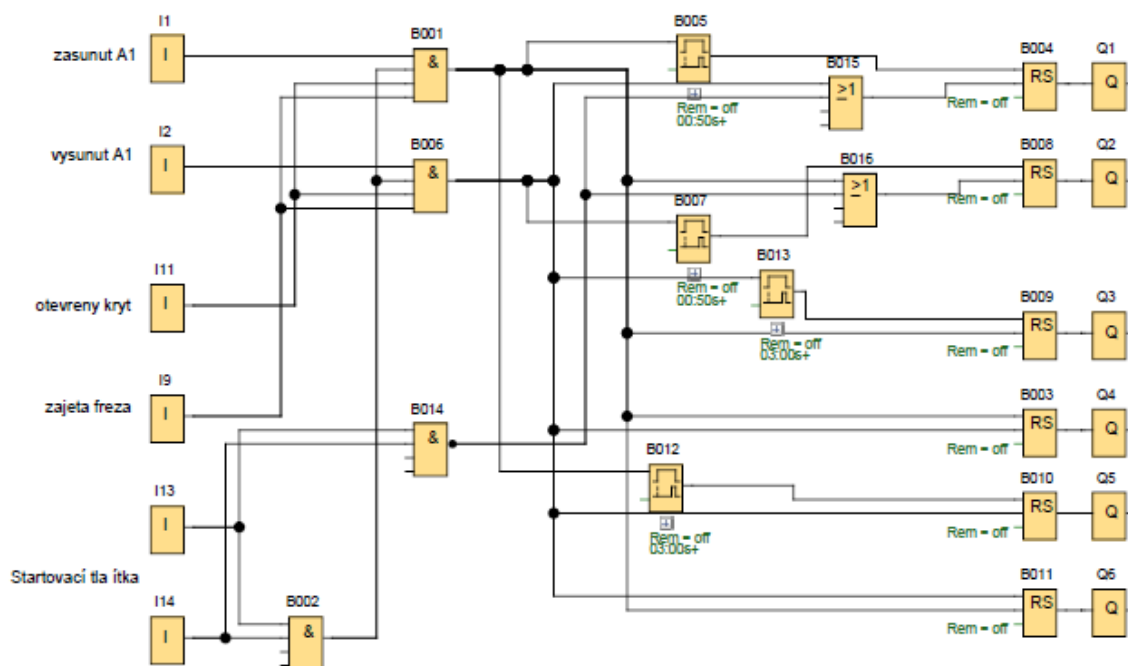


Obrázek 43 - PLC Siemens LOGO! [25]

## 6.4 Řídící program LOGO!

Programování tohoto PLC LOGO! jsem dělal v programu LOGO! Soft Comfort. V tomto programu jsem za vstupy zvolil signály z elektrických snímačů umístěných v obvodu u jednotlivých pohonů a bezpečnostního krytu. Jako výstupy jsem zvolil karty elektromagnetických rozváděčů, kterými rozváděč řídím. Umístění jednotlivých snímačů a popis rozváděčů je uveden v kap. 4.4.

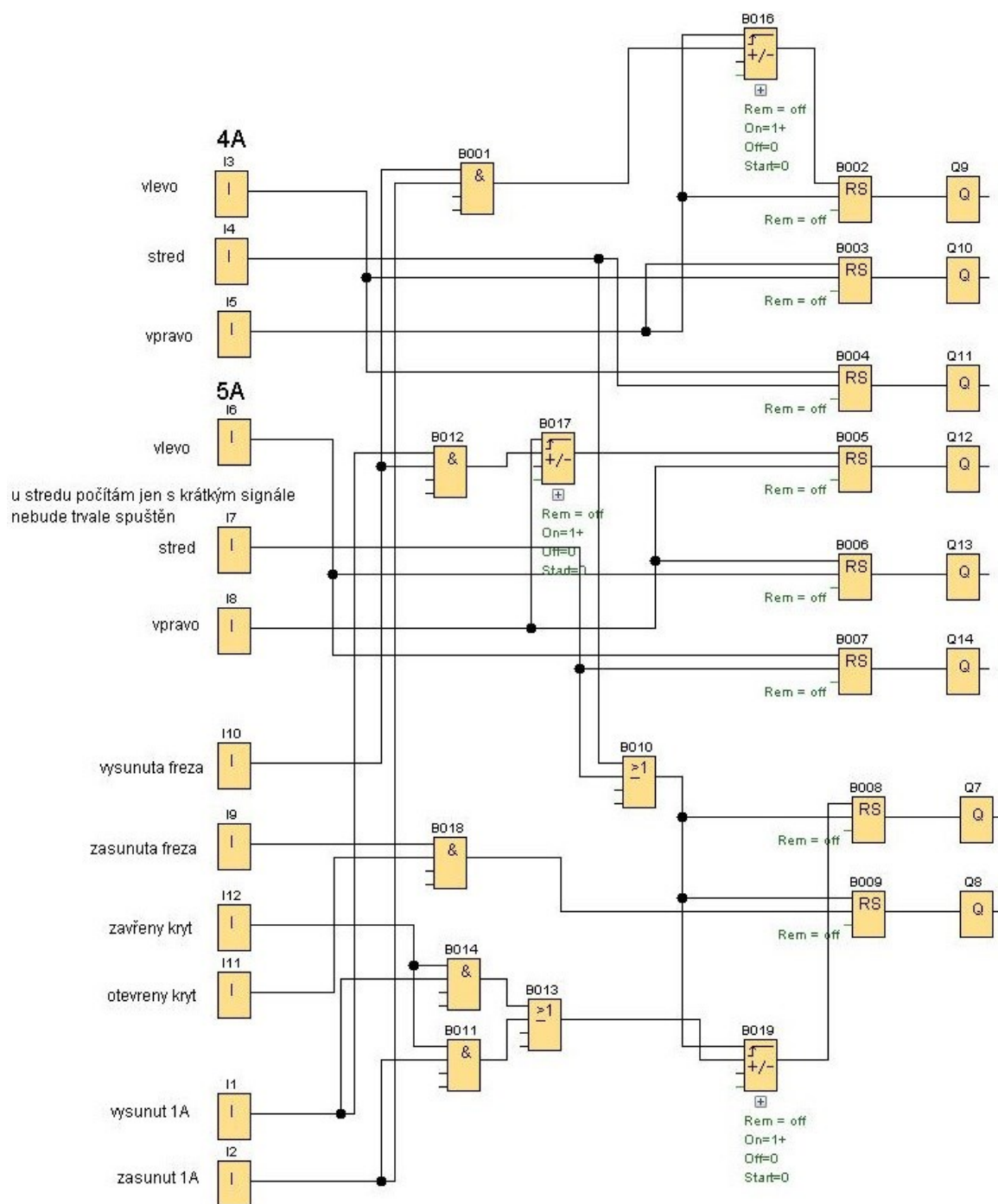
Řídící program jsem opět rozdělil na dvě části. První část je řízení pohybu stolu a druhá část se zabývá řízením kyvného pohybu u frézování drážky. Řídící program v druhé části je zhotoven ve dvou variantách. První varianta slouží k výrobě celé drážky. Kyvný motor vykoná pohyb na obě strany od mezipolohy. Druhá varianta slouží k výrobě poloviční drážky. Kyvný motor vykoná pohyb jen na jednu stranu od mezipolohy. Podle toho jakou drážku bude třeba vyrábět, navolí obsluha daný program. Jednotlivé označení vstupů a výstupů ve schématech uvedených níže odpovídá označení viz. elektropneumatické schéma (Obrázek. 34). Jednotlivé řídicí programy jsou k vidění na následujících obrázcích.



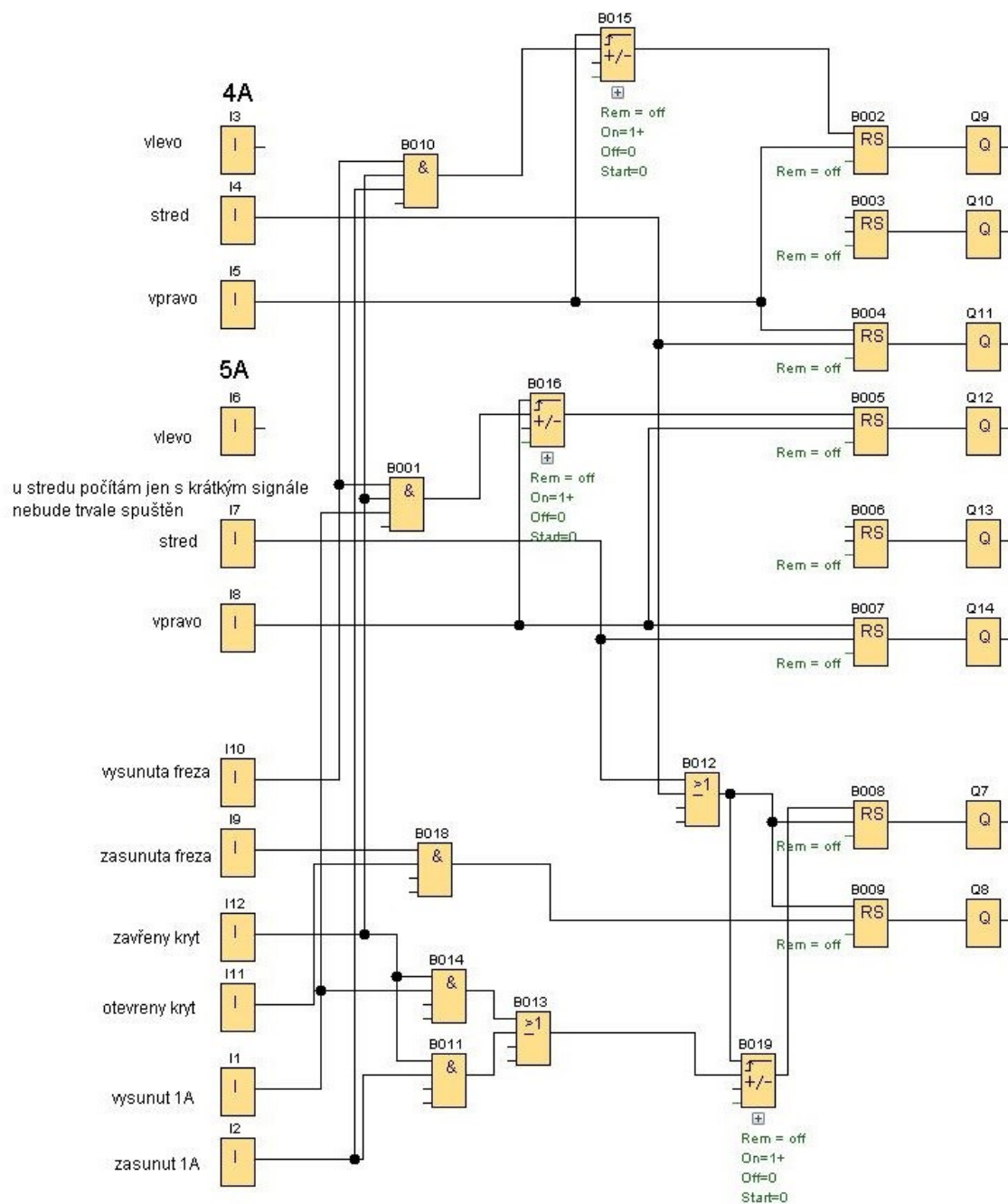
Obrázek 44 - Program řízení posuvu stolu

Na obrázku 44 je vidět řídicí program, který slouží k řízení dvojčinného přímočarého válce a upínek. V obvodu je umístěn prvek NAND. Tento prvek zajistí to, že po uvolnění jednoho tlačítka dojde k okamžitému zastavení pohybu dvojčinného přímočarého válce.

Řídicí program obstarávající pohyb kyvných motorů a frézy je k vidění na obrázcích 45, 46. Na obrázku 45 se jedná o řídicí program, který obstarává výrobu drážky v plném rozsahu, zatímco na obrázku 46 se jedná o výrobu poloviční drážky.



Obrázek 45 - Program řízení kyvného pohybu (celá drážka)



Obrázek 46 - Program řízení kyvného pohybu (poloviční drážka)

## 7 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout zařízení pro frézování drážky do pláště ocelové skruže. Zařízení frézuje drážku o šířce 10 mm. Diplomová práce obsahuje definici obrobku, výpočet řezné síly, volbu pneumatických pohonů a vhodné koncepce zařízení, návrh pneumatických schémat, volbu pneumatických prvků a návrh řízení.

Návrh koncepce konstrukce zařízení se skládal z několika částí, které byly popsány v jednotlivých kapitolách. Na začátku první části jsem musel přesně definovat, o jaký obrobek se jedná. Pro přesně nadefinovaný obrobek jsem zvolil vhodný nástroj a postup frézování drážky do ocelové skruže ventilátoru. Provedl jsem výpočet řezných sil při obrábění této drážky a na základě výsledků výpočtu jsem navolil vhodné pohony stroje.

Na tuto část jsem navázal částí, ve které jsem volil vhodnou koncepci stroje tak, aby zařízení mělo dvě pracovní pozice. V první pozici dochází k vrtání a frézování drážky, ve druhé pozici mezitím dochází k výměně a upevnění kusu. Rozhodoval jsem se mezi zařízením s konstrukcí karuselovou a lineární. Jako vhodnější jsem nakonec zvolil koncepci stroje s lineární konstrukcí. Navrhl jsem rozměry této konstrukce podle nadefinovaného obrobku a zvolených pneumatických pohonů.

V další části jsem se zabýval návrhem pneumatických obvodů. Určil jsem si krokový diagram, ze kterého je patrný pohyb jednotlivých prvků a jejich návaznost. Při návrhu pneumatických obvodů jsem bral v potaz i stránku bezpečnosti, a proto jsem systém navrhl s několika bezpečnostními opatřeními, které chrání stroj i obsluhu. Jako první jsem navrhl schéma, ve kterém jsou prvky ovládané vzduchem. Toto řešení obsahovalo hodně prvků a bylo by složité v případě poruchy v něm najít chybu. Z těchto důvodů jsem navrhl i obvod, ve kterém jsou prvky řízeny elektrickým signálem. Po cenovém porovnání jsem zvolil elektropneumatickou variantu.

V poslední části práce se zaměřuji na volbu jednotlivých pneumatických prvků pro zvolené řešení. Stanovil jsem si čas, za jak dlouho má zařízení změnit pozici. Na základě stanoveného času jsem vypočetl rychlost pohybu a množství vzduchu, které musím pohonu dodat. Ze získaných výsledků z výpočtů jsem specifikoval jednotlivé pneumatické prvky, pro které jsem provedl kontrolu propustnosti, abych měl jistotu, že k pohonu přivedu potřebné množství vzduchu. Řízení stroje bude realizováno programovatelným automatem LOGO! Siemens, pro který jsem sestavil i řídicí programy.

## Poděkování

Za odbornou pomoc při zpracování diplomové práce, chci tímto poděkovat vedoucímu práce panu Ing. Lukášovi Dvořákovi, Ph.D.

## 8 Seznam použité literatury

- [1] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011. ISBN isbn978-80-7361-081-4.
- [2] Konstrukce svařovacího přípravku, VUTBR- Vysoké učení technické v Brně [online] [cit. 2018-02-18]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/15362917-Konstrukce-svarovaciho-pripravku-design-of-welding-jig.html>
- [3] Webový portál ELEKTRODESIGN ventilátory spol s r.o. [online] [cit. 2018-02-15]. Dostupné z: <http://www.elektrodesign.cz/web/cs/product/tcbbx2-4-500-axialni-potrubni-ventilator>
- [4] Webový portál ZPS- FRÉZOVACÍ NÁSTROJE a.s. [online] [cit. 2018-02-16]. Dostupné z: <https://www.zps-fn.cz/frezy-valcove-celni-hss/>
- [5] Webový portál ZPS- FRÉZOVACÍ NÁSTROJE a.s. [online] [cit. 2018-02-16]. Dostupné z: <https://www.zps-fn.cz/vypocty-reznych-podminek/>
- [6] Digitální učební materiály, Volba řezných podmínek [online] [cit. 2018-02-18]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1238>
- [7] Silové zatížení řezných nástrojů při frézování, VUTBR- Vysoké učení technické v Brně [online] [cit. 2018-02-18]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=87483](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=87483)
- [8] Webový portál Festo.com, Paralelní chapadla DHPS [online] [cit.2018-03-15]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cat/cs\\_cz/data/doc\\_cs/PDF/CZ/DHPS\\_CZ.PDF](https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/DHPS_CZ.PDF)
- [9] Webový portál Festo.com, Kyvně přímočaré upínky CLR [online] [cit.2018-03-15]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cat/cs\\_cz/data/doc\\_cs/PDF/CZ/CLR\\_CZ.PDF](https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/CLR_CZ.PDF)
- [10] Webový portál Festo.com, Kyvné pohody DRRD, dva píсты [online] [cit.2018-03-15]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cat/cs\\_cz/data/doc\\_cs/PDF/CZ/DRRD\\_CZ.PDF](https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/DRRD_CZ.PDF)
- [11] Webový portál HENNLICH.cz, katalogy- LINEÁRNÍ VEDENÍ VALIVÁ, MOTORY A POHONY [online] [cit.2018-03-15]. Dostupné z: <https://www.hennlich.cz/produkty/linearni-vedeni-valiva-motory-a-pohony-linearni-vedeni-valive-kruhove-vedeni-1186/typ-hcr.html>
- [12] Webový portál Festo.cz, Válce dle norem DSBC, ISO 15552 [online] [cit.2018-03-15]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cat/cs\\_cz/data/doc\\_cs/PDF/CZ/DSBC\\_CZ.PDF](https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/DSBC_CZ.PDF)
- [13] Webový portál Step-Four.com[online] [cit.2018-04-15]. Dostupné z: [http://www.stepfour.cz/index.php?option=com\\_content&view=article&id=44%3Afrasspi ndelsystem-1000-](http://www.stepfour.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=44%3Afrasspi ndelsystem-1000-)
- [14] Webový portál PNEUMAX Automation s.r.o. [online] [cit.2018-03-15]. Dostupné z: [http://www.pneumaxsro.cz/index.php?pg=pneu\\_5000&pgg=pneu\\_5040&pggg=pneu\\_5416](http://www.pneumaxsro.cz/index.php?pg=pneu_5000&pgg=pneu_5040&pggg=pneu_5416)
- [15] Webový portál LANDEFELD.de, ceny pneumatických prvků [online] [cit.2018-04-1]. Dostupné z: [https://www.landefeld.de/cgi/main.cgi?DISPLAY=index&action\\_lang\\_change=1&save\\_lang=cs&param\\_0=%7b00000000-0000-0000-0000-000000000000%7d&](https://www.landefeld.de/cgi/main.cgi?DISPLAY=index&action_lang_change=1&save_lang=cs&param_0=%7b00000000-0000-0000-0000-000000000000%7d&)



- [16] Webový portál Mader-shop.de, ceny pneumatických prvků [online] [cit.2018-04-1]. Dostupné z: [https://www.madershop.de/index.php?LNG=GB&DSID=unknown.160727.092440\\_74810\\_001](https://www.madershop.de/index.php?LNG=GB&DSID=unknown.160727.092440_74810_001)
- [17] Webový portál Festo.com, Elektromagnetické ventily VUVG/ventilové terminály VTUG [online] [cit.2018-03-15]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cat/cs\\_cz/data/doc\\_cs/PDF/CZ/VTUG-G\\_CZ.PDF](https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/VTUG-G_CZ.PDF)
- [18] Webový portál Festo.com, Jednotky pro úpravu stlačeného vzduchu MSB, řada MS [online] [cit.2018-03-15]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cat/cs\\_cz/data/doc\\_cs/PDF/CZ/MS-CONFIG-COMBINATION\\_CZ.PDF](https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/MS-CONFIG-COMBINATION_CZ.PDF)
- [19] Webový portál Festo.com, Spínací ventily, ventily s pomalým náběhem tlaku MS-EM/EE/DL/DE, řada MS [online] [cit.2018-03-15]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cat/cs\\_cz/data/doc\\_cs/PDF/CZ/MS-START-UP-EXHAUST-VALVES\\_CZ.PDF](https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/MS-START-UP-EXHAUST-VALVES_CZ.PDF)
- [20] Webový portál Festo.com, Jednosměrné škrťací ventily VFOF [online] [cit.2018-03-15]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cat/cs\\_cz/data/doc\\_cs/PDF/CZ/VFOF\\_CZ.PDF](https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/VFOF_CZ.PDF)
- [21] Webový portál Festo.com, Jednosměrné škrťací ventily [online] [cit.2018-03-15]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cat/en-gb\\_gb/data/doc\\_CS/PDF/CZ/GRX-VFO\\_CZ.PDF](https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_CS/PDF/CZ/GRX-VFO_CZ.PDF)
- [22] Webový portál Festo.com, Šroubení s nástrčnými koncovkami QS [online] [cit.2018-03-15]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cat/cs\\_cz/data/doc\\_cs/PDF/CZ/QS\\_CZ.PDF](https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/QS_CZ.PDF)
- [23] Webový portál Festo.com, Trubky na stlačený vzduch PQ [online] [cit.2018-03-15]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cat/cs\\_cz/data/doc\\_cs/PDF/CZ/TUBES\\_CZ.PDF](https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/TUBES_CZ.PDF)
- [24] KOPÁČEK, Jaroslav. *Pneumatické mechanismy díl 1.- Pneumatické prvky a systémy*. Ostrava: VŠB-TUO, 1996. 267s. ISBN isbn80-7078-306-0.
- [25] Webový portál Společnosti SIEMENS AG [online] [cit.2018-05-11]. Dostupné z: <https://www.siemens.com/global/en/home/products/automation/systems/industrial/plc/logo.html>

## 9 Seznam obrázků

Obrázek 1 - Chemické složení materiálu 11 373 [1].....	2
Obrázek 2 – Ventilátor [3] .....	3
Obrázek 3 - Ventilátor s rozměry [3].....	3
Obrázek 4- Čelní válcová fréza s nesouměrným břitem [4] .....	4
Obrázek 5 - Mez pevnosti [1] .....	5
Obrázek 6 - Úhly při frézování.....	6
Obrázek 7 - Paralelní mechanické chapadlo [8].....	13
Obrázek 8 - CLR upínka s upínacím ramenem [9] .....	14
Obrázek 9 - CLR upínka funkční pohled [9] .....	14
Obrázek 10 - Maximální přípustná délka ramena upínky [9].....	15
Obrázek 11 - Pákový princip s přímočarým motorem (maximální vysunutí) .....	16
Obrázek 12 - Pákový princip s přímočarým motorem (počáteční poloha) .....	16
Obrázek 13 - Kyvný motor s modulem mezipohy [10].....	16
Obrázek 14 - Princip činnosti kyvného motoru .....	18
Obrázek 15 - Externí dorazy na motoru .....	19
Obrázek 16 - Karuselová konstrukce.....	20
Obrázek 17 - Karuselová konstrukce 2 .....	20
Obrázek 18 - Konstrukce s lineárním vedením - prvotní návrh .....	21
Obrázek 19 - konstrukce s lineárním vedením 2 – prvotní návrh .....	21
Obrázek 20 - Konstrukce s lineárním vedením 3 – prvotní návrh.....	22
Obrázek 21 - Lineární vedení DRYLIN T [11].....	22
Obrázek 22 – Vozík [11] .....	22
Obrázek 23- Konstrukce s lineárním vedením - konečný návrh .....	24
Obrázek 24 - Konstrukce s lineárním vedením – konečný návrh 2 .....	24
Obrázek 25 - Dvojčinný válec se zámkou v koncových polohách [12] .....	25
Obrázek 26 - Frézovací elektrovřeteno [13].....	26
Obrázek 27 - Frekvenční měnič otáček [13].....	26
Obrázek 28 - Hydropneumatický válec [14].....	27
Obrázek 29 - Krokový diagram pohyb motoru 4A.....	29
Obrázek 30 - Krokový diagram pohyb motoru 5A.....	30
Obrázek 31 - Schéma posuvu stolu .....	31
Obrázek 32 - Pneumatické schéma frézování .....	34
Obrázek 33 - Obvod pro frézování skutečný .....	36
Obrázek 34 - Elektropneumatické schéma .....	37
Obrázek 35 - Ventil 5/3, ve střední poloze odvětráný [17] .....	43
Obrázek 36- Ventil 5/2, bistabilní [17] .....	43
Obrázek 37 - Ventil 3/2, monostabilní [17].....	44
Obrázek 38- Připojovací deska [17].....	45
Obrázek 39- Jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu [18] .....	46
Obrázek 40 - Ventil 3/2, ručně ovládaný [19] .....	47
Obrázek 41 - Kombinovaný ventil [20].....	47
Obrázek 42 – Šroubení [22].....	48
Obrázek 43 - PLC Siemens LOGO! [25] .....	50
Obrázek 44 - Program řízení posuvu stolu .....	51

Obrázek 45 - Program řízení kyvného pohybu (celá drážka) .....	52
Obrázek 46 - Program řízení kyvného pohybu (poloviční drážka) .....	53

## 10 Seznam tabulek

Tabulka 1 - Vlastnosti materiálu tabulky [1] .....	2
Tabulka 2 - Tabulka rozměrů ventilátoru .....	3
Tabulka 3 - Řezné síly HSS .....	7
Tabulka 4 - Řezné síly SK .....	11
Tabulka 5 - Nastavení snímačů.....	33
Tabulka 6 -Cena pneumatického řízení.....	39, 40, 41
Tabulka 7 - Cena elektro řízení.....	41, 42
Tabulka 8 - Parametry 5/3 ventilu .....	43
Tabulka 9 - Parametry ventilu 5/2 .....	44
Tabulka 10 - Parametry 3/2 ventilu.....	44
Tabulka 11 - Parametry připojovací desky.....	45
Tabulka 12 - Parametry jednotky pro úpravu stlačeného vzduchu.....	46
Tabulka 13- Parametry spínacího ventilu.....	47
Tabulka 14 - Parametry kombinovaného ventilu.....	48
Tabulka 15 - Parametry šroubení.....	48
Tabulka 16 - Parametry hadice.....	48

## 11 Seznam příloh

Příloha A. Dispoziční výkres zařízení.pdf
Příloha B. Kusovník. Pdf
Příloha C. Obrázky 3D modelu zařízení
Příloha D. Obvod simulace.tif
Příloha E. Obvod skutečný.tif
Příloha F. Obvod elektro.tif